



Europäisches
Patentamt

European
Patent Office

Office européen
des brevets

jc398 U.S. PT
09/087671
05/29/98

Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterla-
gen stimmen mit der
ursprünglich eingereichten
Fassung der auf dem näch-
sten Blatt bezeichneten
europäischen Patentanmel-
dung überein.

The attached documents
are exact copies of the
European patent application
described on the following
page, as originally filed.

Les documents fixés à
cette attestation sont
conformes à la version
initialement déposée de
la demande de brevet
européen spécifiée à la
page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

97830264.4

Der Präsident des Europäischen Patentamts:
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

N.A.S. Kottie

DEN HAAG, DEN
THE HAGUE,
LA HAYE, LE

25/02/98



Europäisches
Patentamt

European
Patent Office

Office européen
des brevets

Blatt 2 der Bescheinigung
Sheet 2 of the certificate
Page 2 de l'attestation

Anmeldung Nr.:
Application no.:
Demande n°: 97830264.4

Anmeldetag:
Date of filing:
Date de dépôt: 30/05/97

Anmelder:
Applicant(s):
Demandeur(s):
SGS-THOMSON MICROELECTRONICS s.r.l.
20041 Agrate Brianza (Milano)
ITALY

Bezeichnung der Erfindung:
Title of the invention:
Titre de l'invention:

Post-processing method for reducing artifacts in block-coded digital images, and post-processing device for actuating such method

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed / Priorité(s) revendiquée(s)

Staat:
State:
Pays:

Tag:
Date:
Date:

Aktenzeichen:
File no.
Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation:
International Patent classification:
Classification internationale des brevets:

H04N7/30

Am Anmeldetag benannte Vertragsstaaten:
Contracting states designated at date of filing: AT/BE/CH/DE/DK/ES/FI/FR/GB/GR/IE/IT/LI/LU/MC/NL/PT/SE
Etats contractants désignés lors du dépôt:

Bemerkungen:
Remarks:
Remarques:

The title of the application in Italian reads as follows:
Metodo di post-elaborazione per ridurre artefatti in immagini digitali
codificate a blocchi, e dispositivi di post-elaborazione per attuare tale
metodo

“Metodo di post-elaborazione per ridurre artefatti in immagini digitali codificate a blocchi, e dispositivi di post-elaborazione per attuare tale metodo.”

* * * * *

DESCRIZIONE

La presente invenzione si riferisce alla codifica di immagini digitali. Più precisamente, l'invenzione riguarda un metodo di post-elaborazione per ridurre artefatti in immagini digitali codificate a blocchi, e ad un dispositivo di post-elaborazione atto ad attuare tale metodo.

Con la diffusione dei sistemi di comunicazione digitali le immagini digitali sono sempre maggiormente impiegate. Ciò ha portato alla diffusione di telecamere fisse e portatili con capacità di acquisizione ed elaborazione digitali.

Per meglio sfruttare i mezzi di memorizzazione e la banda trasmissiva sono stati sviluppati standard di compressione delle immagini, quali il JPEG per le immagini fisse, e MPEG-1 ed MPEG-2 per sequenze di immagini televisive.

I summenzionati standard di compressione prevedono la codifica a blocchi basata sulla trasformata coseno discreta (DCT). Un'immagine digitale viene suddivisa in blocchi di pixel, e ciascun blocco viene codificato indipendentemente dagli altri. Vengono calcolati coefficienti DCT per i pixel di ciascun blocco, e ai coefficienti DCT viene applicata una matrice di quantizzazione per ridurre l'informazione da memorizzare o trasmettere. Quando l'immagine deve essere visualizzata, essa deve essere preventivamente decodificata.

A causa del processo di quantizzazione, questi metodi di compressione delle immagini danno origine a perdite di informazione nell'immagine

decodificata rispetto all'immagine originale. L'immagine decodificata può pertanto presentare un notevole degrado, consistente soprattutto in due tipi di artefatti noti nella tecnica con i nomi di "rumore a griglia" ("grid noise") e "rumore a gradini" ("staircase noise").

Per ridurre il degrado dell'immagine, sono stati proposti metodi di post-elaborazione dell'immagine decodificata che consentono di attenuare il rumore a griglia ed il rumore a gradini.

In vista dello stato della tecnica descritto, è uno scopo della presente invenzione quello di fornire un nuovo metodo di post-elaborazione per ridurre gli artefatti in immagini digitali codificate a blocchi.

In accordo con la presente invenzione, tale scopo viene raggiunto mediante un metodo di post-elaborazione per ridurre gli artefatti in immagini digitali codificate a blocchi, caratterizzato dal fatto di prevedere:

- a) la suddivisione di un'immagine in ingresso in una pluralità di blocchi di immagine;
- b) per ciascun blocco di immagine, la stima di caratteristiche globali di detto blocco di immagine che forniscono informazioni sul contenuto medio di bordi di immagine lungo le direzioni orizzontale e verticale di detto blocco di immagine;
- c) per ciascun pixel di un blocco di immagine in esame, la stima di caratteristiche locali relative a detto pixel che forniscono informazioni sul contenuto di bordi di immagine lungo la direzione orizzontale e verticale di un'area di immagine nell'intorno di detto pixel;
- d) la modifica del valore di detto pixel in funzione sia di dette caratteristiche globali del blocco di immagine cui appartiene detto pixel, sia

delle caratteristiche locali dell'area di immagine nell'intorno di detto pixel.

Sempre in accordo con l'invenzione, viene fornito un dispositivo di post-elaborazione per attuare tale metodo, caratterizzato dal fatto di comprendere:

- primi mezzi alimentati da un'immagine di ingresso per stimare caratteristiche globali di un blocco di immagine in esame, dette caratteristiche globali fornendo informazioni su un contenuto medio di bordi di immagine lungo la direzione orizzontale e verticale di detto blocco di immagine;

- secondi mezzi alimentati da detta immagine di ingresso per stimare caratteristiche locali per ciascun pixel del blocco di immagine in esame, dette caratteristiche locali fornendo informazioni sul contenuto di bordi di immagine lungo le direzioni orizzontale e verticale di un'area di immagine nell'intorno di detto pixel;

- terzi mezzi alimentati da dette caratteristiche globali e da dette caratteristiche locali per modificare il valore di detto pixel in funzione sia di dette caratteristiche globali che di dette caratteristiche locali.

Le caratteristiche ed i vantaggi della presente invenzione saranno resi maggiormente evidenti dalla seguente descrizione dettagliata di una sua forma di realizzazione, descritta a titolo di esempio non limitativo negli uniti disegni, nei quali:

la figura 1 è un diagramma a blocchi schematico che illustra il principio di funzionamento di un metodo secondo la presente invenzione;

la figura 2 mostra un'immagine digitale suddivisa in blocchi di immagine;

la figura 3 mostra in dettaglio uno dei blocchi di immagine in cui è suddivisa l'immagine di figura 2;

la figura 4 mostra una matrice di pixel del blocco di immagine di figura 3;

la figura 5 mostra un sottoblocco di immagine del blocco di immagine di figura 3 utilizzato valutare le caratteristiche globali del blocco di immagine;

la figura 6 mostra una finestra di elaborazione orizzontale utilizzata per valutare caratteristiche locali nella direzione orizzontale per un generico pixel del blocco di immagine;

la figura 7 mostra una finestra di elaborazione verticale utilizzata per valutare caratteristiche locali nella direzione verticale per detto generico pixel;

le figure 8 e 9 mostrano due funzioni di appartenenza utilizzate per eseguire un calcolo fuzzy;

la figura 10 è un diagramma a blocchi di un dispositivo secondo la presente invenzione;

la figura 11 mostra la struttura di due blocchi del dispositivo di figura 10; e

la figura 12 è un diagramma a blocchi di altri due blocchi del dispositivo di figura 10.

Con riferimento alla figura 1, vi è mostrato un diagramma a blocchi che illustra il principio di funzionamento del metodo di post-elaborazione secondo la presente invenzione. Un'immagine digitale di ingresso compressa e decodificata In viene alimentata ad un blocco di estrazione delle caratteristiche FE. Il blocco FE analizza l'immagine per valutare le sue caratteristiche globali e locali. Le caratteristiche globali e locali, rispettivamente GF e LF, dell'immagine In valutate dal blocco FE sono alimentate in ingresso ad un blocco di elaborazione Fuzzy FUZZY che, in accordo a regole fuzzy, determina parametri FA atti a determinare il tipo di filtraggio da eseguire, in accordo alle caratteristiche globali e locali GF e LF dell'immagine. I parametri FA calcolati dal blocco FUZZY sono alimentati ad un blocco di composizione del filtro FC

che, in accordo a detti parametri FA, determina il tipo di filtraggio da eseguire all'interno di un insieme di filtri predefiniti (blocco FS). Il blocco FC determina parametri di filtraggio FP che vengono alimentati ad un blocco di elaborazione PROC, alimentato direttamente dall'immagine di ingresso In, il quale effettua il filtraggio dell'immagine di ingresso In in accordo ai parametri di filtraggio FP, per fornire una immagine post-elaborata di uscita Out.

Si evince che il tipo di filtraggio da eseguire sull'immagine decodificata di ingresso In viene scelto dopo una stima delle caratteristiche globali e locali dell'immagine decodificata di ingresso. Per le aree dell'immagine vicine a rumore a griglia e nei pressi di un bordo viene eseguito un filtraggio passabasso, in modo da ridurre sia il rumore a gradini che il rumore a griglia. Per quelle aree contenenti dettagli di piccole dimensioni (bordi dell'immagine) non viene effettuato alcun filtraggio. Pertanto, il metodo secondo la presente invenzione prevede di eseguire un filtraggio non lineare adattativo sui pixel dell'immagine decodificata.

Il principio di funzionamento sopra delineato verrà ora descritto in dettaglio.

Come mostrato in figura 2, l'immagine di ingresso In è suddivisa in blocchi di immagine IB, ciascuno contenente un ugual numero di pixel. Una dimensione tipica dei blocchi è 8×8 pixel (figura 3), ma ciò non deve tuttavia essere inteso come una limitazione, poiché sono possibili altre dimensioni per i blocchi.

I blocchi di immagine IB dell'immagine di ingresso In vengono scanditi linea per linea a partire dal blocco in alto a sinistra fino a quello in basso a destra. Il blocco di estrazione delle caratteristiche FE di figura 1 determina per

ciascun blocco IB le caratteristiche globali e locali GF, LF.

Le caratteristiche globali del blocco di immagine IB in esame vengono determinate applicando operatori di Sobel orizzontali e verticali:

$$\text{operatore di Sobel orizzontale (Hsob): } \begin{bmatrix} h11 & h12 & h13 \\ h21 & h22 & h33 \\ h31 & h32 & h33 \end{bmatrix};$$

$$\text{operatore di Sobel verticale (Vsob): } \begin{bmatrix} v11 & v12 & v13 \\ v21 & v22 & v23 \\ v31 & v32 & v33 \end{bmatrix}$$

a ciascun pixel appartenente ad un sotto-blocco di immagine interno al blocco di immagine IB. Ad esempio, i seguenti operatori di Sobel:

$$\text{Hsob: } \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$\text{Vsob: } \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

vengono applicati ad un sotto-blocco di immagine ISB di 6*6 pixel (area grigia in figura 5). Come mostrato in figura 4, per ciascun pixel P_i del sotto-blocco di immagine ISB viene presa in considerazione una matrice M di 3*3 pixel vicini centrata nel pixel P_i , ed i valori dei pixel di detta matrice vengono moltiplicati per i coefficienti degli operatori di Sobel orizzontali e verticali, per ottenere:

$$\text{Hsob} = (P3+P8+2*P5)-(P1+P6+2*P4),$$

$$\text{Vsob}=(P6+P8+2*P7)-(P1+P3+2*P2),$$

ove $P1$ - $P4$ e $P5$ - $P8$ sono i valori dei pixel (livelli di grigio).

Come noto, gli operatori di Sobel orizzontali e verticali effettuano un filtraggio in grado di determinare bordi lungo la direzione orizzontale e verticale, rispettivamente.

I valori di uscita degli operatori di Sobel orizzontali calcolati per i pixel del sotto-blocco di immagine ISB vengono accumulati per ottenere un valore accumulato $Acc(Hsob)$, ed i valori di uscita degli operatori di Sobel verticali calcolati per i pixel del sotto-blocco di immagine ISB sono accumulati per ottenere un valore accumulato $Acc(Vsob)$. $Acc(Hsob)$ fornisce il contenuto di alte frequenze nella direzione orizzontale (bordi verticali) del blocco di immagine IB. $Acc(Vsob)$ fornisce il contenuto di alte frequenze nella direzione verticale (bordi orizzontali) del blocco di immagine IB. Pertanto, $Acc(Hsob)$ e $Acc(Vsob)$ forniscono rispettivamente il grado di presenza di bordi del blocco di immagine in esame nelle direzioni verticale ed orizzontale. Si deve notare che per valutare le caratteristiche globali GF del blocco di immagine IB in esame solo i pixel appartenenti a questo blocco vengono presi in considerazione (applicando gli operatori di Sobel 3×3 al sotto-blocco di immagine ISB, non è necessario prendere in considerazione i pixel appartenenti ai blocchi di immagine vicini).

Le caratteristiche globali GF del blocco di immagine in esame possono essere costituite dai valori accumulati $Acc(Hsob)$ e $Acc(Vsob)$. In alternativa, le caratteristiche globali GF del blocco di immagine possono essere costituite da una media dei valori accumulati $Acc(Hsob)$ e $Acc(Vsob)$, per ottenere il numero medio di bordi nelle direzioni orizzontale e verticale del blocco di immagine in esame.

Le caratteristiche locali del blocco di immagine IB vengono stimate

secondo il metodo seguente. Tutti i pixel del blocco di immagine IB in esame vengono scanditi linea per linea partendo dal pixel in alto a sinistra fino a quello in basso a destra. A ciascun pixel è applicata una finestra di elaborazione orizzontale: viene preso in considerazione un numero prestabilito di pixel appartenenti alla stessa linea di immagine del pixel in considerazione e che precedono e seguono tale pixel. Una finestra di elaborazione orizzontale HPW adatta allo scopo, ossia una finestra di elaborazione orizzontale 1×5 , è mostrata in figura 6: per un dato pixel, si considerano i due pixel che precedono Pa, Pb ed i due pixel che seguono Pc, Pd appartenenti alla stessa linea. In figura 6 viene mostrata ad esempio la finestra di elaborazione HPW associata al primo pixel Px del blocco di immagine. Si deve notare che non solo vengono considerati i pixel del blocco di immagine IB in esame, ma anche i pixel appartenenti a blocchi di immagine vicini; ciò è ad esempio il caso del primo, del secondo, del settimo e dell'ottavo pixel di ciascuna linea di pixel del blocco di immagine IB in esame.

L'operatore di Sobel orizzontale summenzionato viene applicato a ciascun pixel Pa, Pb, Px, Pc, Pd della finestra di elaborazione orizzontale HPW, per ottenere cinque valori di uscita HS1-HS5. I valori HS1-HS5 forniscono le caratteristiche locali nella direzione orizzontale per il pixel in esame Px, ossia il contenuto di alte frequenze nella direzione orizzontale della regione dell'immagine nell'intorno del pixel in esame.

Analogamente, a ciascun pixel del blocco di immagine IB viene applicata una finestra di elaborazione verticale. La finestra di elaborazione verticale è costituita dal pixel in esame Px e da un numero prestabilito di pixel appartenenti alla stessa colonna e che precedono e seguono il pixel in esame;

ad esempio, come mostrato in figura 7, la finestra di elaborazione verticale VPW può avere dimensioni identiche alla finestra di elaborazione orizzontale HPW (5×1), e contenere quindi due pixel P_e , P_f che precedono il pixel P_x e due pixel P_g , P_h che seguono il pixel P_x nella direzione verticale.

L'operatore di Sobel verticale V_{sob} precedentemente descritto viene quindi applicato a ciascun pixel della finestra di elaborazione verticale VPW per ottenere cinque valori VS_1 - VS_5 . I valori VS_1 - VS_5 formano le caratteristiche locali nella direzione verticale per il pixel in esame, ossia il contenuto di alte frequenze nella direzione verticale di una regione di immagine nell'intorno del pixel in esame.

Le caratteristiche globali GF del blocco di immagine IB in esame (ossia i due valori accumulati $Acc(H_{sob})$ e $Acc(V_{sob})$ o, in alternativa, il valor medio di $Acc(H_{sob})$ e $Acc(V_{sob})$) e le caratteristiche locali LF per il pixel in esame all'interno di detto blocco di immagine (i dieci valori HS_1 - HS_5 e VS_1 - VS_5) vengono quindi alimentati al blocco di calcolo fuzzy FUZZY. Questo blocco valuta il gradi di appartenenza di un generico valore HS_i e VS_i ($i=1..5$) a due insiemi fuzzy "Small" ("Piccolo") e "Big" ("Grande"); questi gradi di appartenenza possono essere valutati applicando a HS_i , VS_i le funzioni di appartenenza raffigurate nelle figure 8 e 9. In queste figure, Th_1 e Th_2 sono valori dipendenti dalle caratteristiche globali GF del blocco di immagine in esame, ossia dai valori accumulati $Acc(H_{sob})$ e $Acc(V_{sob})$ o dal valor medio dei valori accumulati; nel primo caso, Th_1 e Th_2 sono diversi per i valori HS_i e VS_i ; nel secondo caso, Th_1 e Th_2 sono gli stessi per i valori HS_i e VS_i .

Vengono poi valutate regole fuzzy aventi come antecedenti i gradi di appartenenza dei valori di uscita HS_i e VS_i ai due insiemi fuzzy "Piccolo" e

“Grande”. Ciò significa che devono essere valutate 32 regole sia per la direzione orizzontale che per quella verticale. Tuttavia, tutte le regole fuzzy aventi la stessa conseguenza vengono sintetizzate in una regola soltanto mediante un operatore Else. In questo modo, la complessità del sistema viene ridotta, e deve essere calcolato un totale di nove regole per ciascuna direzione.

Le seguenti regole fuzzy vengono applicate ai cinque valori HS1-HS5 associati alla direzione orizzontale:

1. Se HS1 è Piccolo e HS2 è Piccolo e HS3 è Piccolo e HS4 è Piccolo e HS5 è Piccolo, allora α_1 è Grande;
2. Se HS1 è Piccolo e HS2 è Piccolo e HS3 è Piccolo e HS4 è Piccolo e HS5 è Grande, allora α_2 è Grande;
3. Se HS1 è Piccolo e HS2 è Piccolo e HS3 è Piccolo e HS4 è Grande e HS5 è Piccolo, allora α_3 è Grande;
4. Se HS1 è Piccolo e HS2 è Piccolo e HS3 è Piccolo e HS4 è Grande e HS5 è Grande, allora α_4 è Grande;
5. Se HS1 è Piccolo e HS2 è Grande e HS3 è Piccolo e HS4 è Piccolo e HS5 è Piccolo, allora α_5 è Grande;
6. Se HS1 è Grande e HS2 è Piccolo e HS3 è Piccolo e HS4 è Piccolo e HS5 è Piccolo, allora α_6 è Grande;
7. Se HS1 è Grande e HS2 è Piccolo e HS3 è Piccolo e HS4 è Piccolo e HS5 è Grande, allora α_7 è Grande;
8. Se HS1 è Grande e HS2 è Grande e HS3 è Piccolo e HS4 è Piccolo e HS5 è Piccolo, allora α_8 è Grande.

Il livello di attivazione di ciascuna regola dipende dal grado di appartenenza dello schema dei valori di uscita HS_i dell'operatore di Sobel

orizzontale applicato ai cinque pixel della finestra di elaborazione orizzontale HPW; il grado di appartenenza dipende a sua volta dalle caratteristiche globali GF del blocco di immagine al quale appartiene il pixel in esame. Il livello di attivazione della regola else (nona regola) è calcolato come $\alpha_{else} = (1 - \alpha_{ave})$, ove α_{ave} è la media dei gradi di attivazione delle regole fuzzy da 1 a 8. α_1 - α_8 e α_{else} , ed un analogo insieme di nove gradi di attivazione delle regole fuzzy applicate ai valori VS1-VS5) costituiscono l'uscita FA del blocco di calcolo fuzzy FUZZY di figura 1.

Ciascuna delle regole sopra elencate è associata ad un rispettivo insieme di parametri di filtro predefiniti, che sono memorizzati come una tabella di riferimento nel blocco FS di figura 1. Insiemi di parametri di filtro predefiniti sono ad esempio:

Regola 1: ($c_{11}=1.0, c_{12}=1.0, c_{13}=1.0, c_{14}=1.0, c_{15}=1.0$) se il pixel in esame è all'esterno del sotto-blocco di immagine ISB, e
 ($c_{11}=0.0, c_{12}=1.0, c_{13}=1.0, c_{14}=1.0, c_{15}=0.0$) se il pixel in esame è all'interno del sotto-blocco di immagine ISB;

Regola 2: ($c_{21}=0.5, c_{22}=1.0, c_{23}=1.0, c_{24}=1.0, c_{25}=0.0$);

Regola 3: ($c_{31}=0.5, c_{32}=1.0, c_{33}=1.0, c_{34}=0.0, c_{35}=0.0$);

Regola 4: ($c_{41}=0.5, c_{42}=1.0, c_{43}=1.0, c_{44}=0.0, c_{45}=0.0$);

Regola 5: ($c_{51}=0.0, c_{52}=0.0, c_{53}=1.0, c_{54}=1.0, c_{55}=0.5$);

Regola 6: ($c_{61}=0.0, c_{62}=1.0, c_{63}=1.0, c_{64}=1.0, c_{65}=0.5$);

Regola 7: ($c_{71}=0.0, c_{72}=1.0, c_{73}=1.0, c_{74}=1.0, c_{75}=0.0$);

Regola 8: ($c_{81}=0.0, c_{82}=0.0, c_{83}=1.0, c_{84}=1.0, c_{85}=0.5$);

Regola else: ($c_{91}=0.0, c_{92}=0.0, c_{93}=1.0, c_{94}=0.0, c_{95}=0.0$).

I parametri FP del filtro da applicare ai cinque pixel della finestra di

elaborazione orizzontale HPW sono calcolati come media pesata dei nove filtri sopra descritti, con fattori di peso costituiti dai gradi di attivazione α_1 - α_8 e α_{else} delle rispettive regole fuzzy.

Essendo α_i il grado di attivazione della regola i-esima ($i=1..9$), la nona regola fuzzy essendo la regola fuzzy else ($\alpha_9 = \alpha_{\text{else}}$), e c_{ij} i coefficienti dell'i-esimo filtro ($i=1..9, j=1..5$), il fattore peso applicato al filtro i-esimo, associato alla i-esima regola fuzzy è:

$$F_i = \alpha_i \cdot c_{ij}$$

ed i coefficienti H_i del filtro orizzontale finale da applicare ai pixel della finestra di elaborazione orizzontale HPW sono dati da:

$$H_j = \frac{\sum_{i=1}^9 \alpha_i \cdot c_{ij}}{N}$$

ove N è un fattore di normalizzazione.

Il valore filtrato orizzontalmente $\underline{P_x}$ del pixel P_x in esame (al centro delle finestra di elaborazione orizzontale) viene poi calcolato come media pesata dei valori dei pixel P_a, P_b, P_x, P_c e P_d appartenenti alla finestra di elaborazione orizzontale HPW, con fattori peso costituiti dai coefficienti H_j :

$$\underline{P_x} = H_1 \cdot P_a + H_2 \cdot P_b + H_3 \cdot P_x + H_4 \cdot P_c + H_5 \cdot P_d.$$

Analoghi calcoli vengono eseguiti per la direzione verticale, a partire dai valori di uscita VS_1 - VS_5 degli operatori di Sobel verticali applicati ai pixel P_e, P_f, P_x, P_g e P_h della finestra di elaborazione verticale VPW. I coefficienti V_j ($J=1..5$) del filtro per la direzione verticale sono calcolati in modo del tutto analogo a quello usato per determinare i coefficienti H_j :

$$V_j = \frac{\sum_{i=1}^9 \beta_i \cdot c_{ij}}{N}$$

ove β_i ($i=1..9$) sono i gradi di attivazione di nove regole fuzzy per la direzione verticale (analoghi quelli sopra elencati per la direzione orizzontale) e c_{ij} ($j=1..5$) sono ora i parametri di filtro predefiniti associati alla i -esima regola fuzzy per la direzione verticale. I coefficienti V_j vengono poi applicati ai pixel nella finestra di elaborazione verticale VPW per calcolare una media pesata degli stessi. Il valore filtrato del pixel P_x in esame, filtrato sia nella direzione orizzontale che in quella verticale, viene fornito all'uscita del blocco PROC.

Il valore del pixel P_x in esame da moltiplicare per il coefficiente di filtro verticale V_3 può essere il valore $\underline{P_x}$ ottenuto dopo aver applicato ai pixel nella finestra di elaborazione orizzontale HPW il filtro orizzontale H_j ($j=1..5$):

$$\text{Out} = V_1 * P_e + V_2 * P_f + V_3 * \underline{P_x} + V_4 * P_g + V_5 * P_h.$$

In alternativa, è possibile valutare dapprima il valore filtrato verticalmente $\underline{P_x}$ del pixel in esame:

$$\underline{P_x} = V_1 * P_e + V_2 * P_f + V_3 * P_x + V_4 * P_g + V_5 * P_h,$$

e poi effettuare il filtraggio nella direzione orizzontale applicando a questo valore il rispettivo coefficiente H_3 del filtro orizzontale H_j :

$$\text{Out} = H_1 * P_a + H_2 * P_b + H_3 * \underline{P_x} + H_4 * P_c + H_5 * P_d.$$

La sequenza non ha importanza, la cosa importante da sottolineare essendo che al termine del processo il valore del pixel in esame è il risultato di un filtraggio sia orizzontale che verticale.

La figura 10 è uno schema a blocchi di un dispositivo atto ad implementare il metodo precedentemente descritto. Il dispositivo comprende due blocchi

principali: un primo blocco 1 valuta le caratteristiche globali GF dei blocchi di immagine IB in cui l'immagine da post-elaborare è suddivisa, ed un secondo blocco 2 valuta le caratteristiche locali LF dei pixel dell'immagine ed effettua il filtraggio in accordo alle caratteristiche sia locali che globali.

Si supponga che l'immagine da post-elaborare venga scandita linea per linea in ordine sequenziale. Il segnale In è un flusso di pixel dell'immagine di ingresso scandita linea per linea. Il blocco 1 è alimentato dal segnale In; il segnale In alimenta anche una cascata di due memorie di linea LM1 e LM2 le cui uscite alimentano il blocco 1.

All'interno del blocco 1, il segnale In e le uscite delle memorie di linea LM1 e LM2 alimentano un blocco 3 di ritardi di pixel atto ad implementare la finestra di pixel 3×3 che viene utilizzata per il calcolo degli operatori di Sobel orizzontale e verticale per i pixel del sotto-blocco di immagine 6×6 ISB all'interno del blocco di immagine IB. Il blocco 3 alimenta un blocco 4 che calcola le uscite Hsob e Vsob degli operatori di Sobel orizzontale e verticale per quei pixel della linea di immagine corrente che appartengono ai sotto-blocchi di immagine 6×6 ISB di ciascun blocco di immagine IB. Le uscite Hsob e Vsob del blocco 4 vengono alimentate ad un blocco accumulatore 5 nel quale esse vengono accumulate. Dopo otto linee di immagine, ossia dopo che è stata scandita una linea di blocchi di immagine IB, i valori accumulati Acc(Hsob) e Acc(Vsob) (o in alternativa la loro media) per ciascun blocco di immagine IB vengono memorizzati in un blocco di memoria 6.

L'uscita della memoria di linea LM2 alimenta una cascata di altre otto memorie di linea LM3-LM10. Il blocco 2 è alimentato in parallelo dalle uscite delle memorie di linea LM4-LM10. In questo modo, la valutazione delle

caratteristiche locali ed il calcolo dei parametri di filtro inizia dopo che il blocco \1 ha stimato le caratteristiche globali GF per una linea di blocchi di immagine IB.

All'interno del blocco 2, un blocco 7 di ritardi di pixel è alimentato dalle uscite di memorie di linea LM4-LM10; mediante le memorie di linea LM4-LM10 ed il blocco di ritardo di pixel 7 è possibile implementare la finestra di elaborazione verticale 5×1 VPW. Le uscite L4-L10 del blocco di ritardi di pixel 7 alimentano un blocco 8 che applica l'operatore di Sobel verticale a ciascun pixel all'interno della finestra di elaborazione verticale VPW. Per evitare l'impiego di ulteriori memorie di linea, viene preferito un approccio parallelo che prevede di calcolare cinque operatori di Sobel verticali in parallelo; le uscite dei cinque operatori di Sobel verticali VS1-VS5 vengono alimentate ad un filtro fuzzy verticale 9, che è anche alimentato dalle uscite L6-L10 del blocco di ritardo di pixel 7 e dall'uscita MOUT della memoria MEM del blocco 1. MOUT fornisce le caratteristiche globali GF del blocco di immagine IB correntemente elaborato dal blocco 2, ossia il valore accumulato $Acc(V_{sob})$ o, in alternativa, la media di $Acc(V_{sob})$ e $Acc(H_{sob})$. Il blocco di filtro fuzzy verticale 9 valuta il grado di appartenenza dei valori VS1-VS5 agli insiemi fuzzy "Small" ("Piccolo") e "Big" ("Grande") tenendo conto delle caratteristiche globali fornite da MOUT, valuta i livelli di attivazione delle nove regole fuzzy per la direzione verticale, calcola i coefficienti V_j ($j=1..5$) del filtro verticale ed applica i coefficienti del filtro verticale V_j ai cinque pixel P_e , P_f , P_x , P_g , P_h nella finestra di elaborazione verticale VPW, per calcolare il valore filtrato verticalmente P_x del pixel al centro della finestra di elaborazione verticale. L'uscita del blocco di filtro fuzzy verticale 9 forma il valore filtrato

verticalmente Pd del pixel Pd nella finestra di elaborazione orizzontale HPW mostrata in figura 6 ed alimenta direttamente un blocco di filtro fuzzy orizzontale 10; l'uscita Pd del blocco 9 alimenta anche una cascata di quattro ritardi di pixel D le cui uscite formano rispettivamente i valori filtrati verticalmente Pc, Px, Pb, Pa dei pixel Pc, Px, Pb, Pa nella finestra di elaborazione orizzontale HPW ed alimentano il blocco di filtro fuzzy orizzontale 10.

In parallelo ai blocchi 8 e 9, le uscite L7-L9 del blocco di ritardo di pixel 7 alimentano un blocco 11 che applica ai pixel della finestra di elaborazione orizzontale HPW gli operatori di Sobel orizzontali. Diversamente dagli operatori di Sobel verticali, viene calcolato un solo operatore di Sobel orizzontale alla volta; un blocco di ritardo di compensazione 12 introduce un ritardo per compensare il ritardo di elaborazione del blocco di filtro fuzzy verticale 9. L'uscita del blocco 12, che costituisce l'uscita HS5 dell'operatore di Sobel orizzontale applicata al pixel Pd della finestra di elaborazione orizzontale di figura 6, alimenta il blocco di filtro fuzzy orizzontale 10 ed una cascata di quattro ritardi di pixel D, le uscite dei quali costituiscono i valori HS4, HS3, HS2 e HS1 ed alimentano il blocco di filtro fuzzy orizzontale 10. Il blocco di filtro fuzzy orizzontale 10, che è inoltre alimentato dall'uscita MOUT del blocco di memoria MEM nel blocco 1 che fornisce il valore Acc(Hsob) (o in alternativa la media dei valori Acc(Hsob) e Acc(Vsob)), valuta il grado di appartenenza dei valori HS1-HS5 agli insiemi fuzzy "Piccolo" e "Grande" in funzione del valore delle caratteristiche globali GF fornite da MOUT, valuta i livelli di attivazione delle nove regole fuzzy precedentemente descritte per il filtraggio nella direzione orizzontale, calcola i coefficienti H_j del filtro

orizzontale ed applica i parametri H_j ai valori filtrati verticalmente $\underline{P_a}$, $\underline{P_b}$, $\underline{P_x}$, $\underline{P_c}$, $\underline{P_d}$ dei pixel P_a , P_b , P_x , P_c , P_d della finestra di elaborazione orizzontale HPW per ottenere il valore filtrato orizzontalmente e verticalmente Out del pixel P_x in esame.

Un circuito di controllo CTRL governa il funzionamento dei blocchi 1, 2 e delle memorie di linea LM1-LM10.

La figura 11 mostra la struttura dei blocchi operatori di Sobel orizzontale e verticale 8 e 11 di figura 10. Essi sono costituiti in modo noto mediante sommatore.

La figura 12 mostra la struttura sia del blocco di filtro fuzzy verticale 9 che del blocco di filtro fuzzy orizzontale 10. X1-X5 sono rispettivamente le uscite dell'operatore di Sobel verticale e orizzontale VS1-VS5 e HS1-HS5. X1-X5 vengono alimentate ad un blocco di valutazione delle regole 13 che valuta i gradi di attivazione β_1 - β_9 delle nove regole fuzzy per la direzione verticale o, rispettivamente, i gradi di attivazione α_1 - α_9 delle nove regole fuzzy per la direzione orizzontale. I gradi di attivazione valutati dal blocco 13 sono alimentati ad una tabella di riferimento contenente rispettivi parametri di filtro predefiniti F1-F9 (costituente il blocco FS in figura 1), e le uscite della tabella di riferimento, ossia i parametri di filtro predefiniti c_{ij} moltiplicati per il grado di attivazione della rispettiva regola fuzzy, vengono alimentati ad un blocco di composizione del filtro 14 che calcola i coefficienti V1-V5 o, rispettivamente, H1-H5, del filtro verticale o rispettivamente del filtro orizzontale. Detti coefficienti vengono poi alimentati ad un blocco di elaborazione 15 che è anche alimentato dai valori dei pixel PXS (L6-L10 o, rispettivamente, $\underline{P_a}$, $\underline{P_b}$, $\underline{P_x}$, $\underline{P_c}$, $\underline{P_d}$ di figura 10); il blocco 15 applica i coefficienti di filtraggio ai valori dei

pixel per ottenere il valore filtrato del pixel in esame P_x . di figura 10); il blocco 15 applica i coefficienti di filtraggio ai valori dei pixel per ottenere il valore filtrato del pixel in esame P_x .

RIVENDICAZIONI

1. Metodo di post-elaborazione per ridurre gli artefatti in immagini digitali codificate a blocchi, caratterizzato dal fatto di prevedere:

a) la suddivisione di un immagine in ingresso (In) in una pluralità di blocchi di immagine (IB);

b) per ciascun blocco di immagine (IB), la stima di caratteristiche globali (GF) di detto blocco di immagine che forniscono informazioni sul contenuto medio di bordi di immagine lungo le direzioni orizzontale e verticale di detto blocco di immagine (IB);

c) per ciascun pixel (Px) di un blocco di immagine (IB) in esame, la stima di caratteristiche locali (LF) relative a detto pixel (Px) che forniscono informazioni sul contenuto di bordi di immagine lungo la direzione orizzontale e verticale di un'area di immagine nell'intorno di detto pixel (Px);

d) la modifica del valore di detto pixel (Px) in funzione sia di dette caratteristiche globali (GF) del blocco di immagine (IB) cui appartiene detto pixel (Px), sia delle caratteristiche locali (LF) dell'area di immagine nell'intorno di detto pixel (Px).

2. Metodo secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che la fase d) prevede di:

d1) definire un insieme di caratteristiche locali predefinite;

d2) definire gradi di coincidenza (α_1 - α_9 , β_1 - β_9) di dette caratteristiche locali (LF) dell'area di immagine nell'intorno di detto pixel (Px) con ciascuna delle caratteristiche locali predefinite di detto insieme, detti gradi di coincidenza (α_1 - α_9 , β_1 - β_9) essendo dipendenti da dette caratteristiche globali (GF) del blocco di immagine (IB) cui appartiene detto pixel (Px);

d3) rendere il valore di detto pixel (P_x) pari ad una media pesata ($\underline{P_x}, \underline{P_x}$) del valore di detto pixel (P_x) e dei valori di pixel vicini (P_a-P_d, P_e-P_f), con fattori peso ($H1-H5, V1-V5$) funzione di detti gradi di coincidenza di dette caratteristiche locali (LF) con ciascuna di dette caratteristiche locali predefinite.

3. Metodo secondo la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che detto determinare i gradi di coincidenza ($\alpha1-\alpha9, \beta1-\beta9$) nella fase d2) prevede di effettuare un calcolo fuzzy.

4. Metodo secondo la rivendicazione 3, caratterizzato dal fatto che ciascuna di dette caratteristiche locali predefinite è associata ad un rispettivo gruppo di fattori peso predefiniti (c_{ij}), e che ciascuno di detti fattori peso ($H1-H5, V1-V5$) è calcolato come media pesata di corrispondenti fattori peso predefiniti (c_{ij}) di detti gruppi con coefficienti peso ($\alpha1-\alpha9, \beta1-\beta9$) funzione di detti gradi di coincidenza di dette caratteristiche locali (LF) con ciascuna di dette caratteristiche locali predefinite.

5. Metodo secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto che detta stima delle caratteristiche globali (GF) del blocco di immagine (IB) in esame prevede di applicare operatori di Sobel orizzontali e verticali (H_{sob}, V_{sob}) a pixel appartenenti ad un sotto-blocco di immagine (ISB) interno a detto blocco di immagine (IB) in esame.

6. Metodo secondo la rivendicazione 5, caratterizzato dal fatto che detta stima delle caratteristiche globali (GF) del blocco di immagine (IB) in esame prevede di sommare uscite degli operatori di Sobel orizzontali (H_{sob}) applicati a ciascun pixel del sotto-blocco di immagine (ISB) per ottenere una uscita accumulata degli operatori di Sobel orizzontali ($Acc(H_{sob})$), e di sommare uscite degli operatori di Sobel verticali (V_{sob}) applicati a ciascun pixel di detto

sotto-blocco di immagine (ISB) per ottenere una uscita accumulata degli operatori di Sobel verticali ($\text{Acc}(\text{Vsob})$).

7. Metodo secondo la rivendicazione 6, caratterizzato dal fatto che dette caratteristiche globali (GF) del blocco di immagine (IB) in esame sono costituite da dette uscite accumulate degli operatori di Sobel orizzontali e verticali ($\text{Acc}(\text{Hsob}), \text{Acc}(\text{Vsob})$).

8. Metodo secondo la rivendicazione 6, caratterizzato dal fatto che dette caratteristiche globali (GF) del blocco di immagine (IB) in esame sono costituite da una media di dette uscite accumulate degli operatori di Sobel orizzontali e verticali ($\text{Acc}(\text{Hsob}), \text{Acc}(\text{Vsob})$).

9. Metodo secondo la rivendicazione 7 o 8, caratterizzato dal fatto che detta stima delle caratteristiche locali (LF) per un pixel (Px) del blocco di immagine (IB) in esame prevede di:

c1) considerare una finestra di elaborazione orizzontale (HPW) contenente il pixel (Px) in esame e pixel vicini (Pa,Pb,Pc,Pd) appartenenti ad una stessa linea di immagine del pixel (Px) e precedenti e seguenti il pixel (Px);

c2) applicare detto operatore di Sobel orizzontale (Hsob) a ciascun pixel (Pa-Pd,Px) della finestra di elaborazione orizzontale (HPW) per ottenere uno schema orizzontale di uscite di operatori di Sobel orizzontali (HS1-HS5);

c3) considerare una finestra di elaborazione verticale (VPW) contenente il pixel (Px) in esame e pixel vicini (Pe,Pf,Pg,Ph) appartenenti ad una stessa colonna di pixel del pixel (Px) e precedenti e seguenti il pixel (Px);

c4) applicare detto operatore di Sobel verticale (Vsob) a ciascun pixel (Pe-Ph,Px) della finestra di elaborazione verticale (VPW) per ottenere uno schema verticale di uscite di operatori di Sobel verticali (VS1-VS5).

10. Metodo secondo la rivendicazione 9, caratterizzato dal fatto che dette finestre di elaborazione orizzontale e verticale (HPW,VPW) contengono ciascuna cinque pixel e sono centrate in detto pixel (Px) in esame.

11. Metodo secondo la rivendicazione 10, caratterizzato dal fatto che nella fase d2) è prevista la determinazione di gradi di appartenenza di ciascuna uscita dell'operatore di Sobel orizzontale (HS1-HS5) dello schema orizzontale ad un primo insieme fuzzy "Piccolo" e ad un primo insieme fuzzy "Grande", la valutazione di gradi di attivazione (α_1 - α_9) di un primo insieme di regole fuzzy ciascuna delle quali associata ad almeno uno schema orizzontale predefinito di uscite dell'operatore di Sobel orizzontale, la determinazione di gradi di appartenenza di ciascuna uscita dell'operatore di Sobel verticale (VS1-VS5) dello schema verticale ad un secondo insieme fuzzy "Piccolo" e ad un secondo insieme fuzzy "Grande" e la valutazione di gradi di attivazione (β_1 - β_9) di un secondo insieme di regole fuzzy ciascuna associata ad almeno uno schema verticale predefinito di uscite dell'operatore di Sobel verticale.

12. Metodo secondo la rivendicazione 11, caratterizzato dal fatto che detta determinazione dei gradi di appartenenza delle uscite dell'operatore di Sobel orizzontale (HS1-HS5) dello schema orizzontale a detti primi insiemi fuzzy "Piccolo" e "Grande" prevede di determinare una prima ed una seconda funzione di appartenenza dipendenti da dette caratteristiche globali (GF), e detta determinazione dei gradi di appartenenza delle uscite dell'operatore di Sobel verticale (VS1-VS5) dello schema verticale a detti secondi insiemi fuzzy "Piccolo" e "Grande" prevede di determinare una terza ed una quarta funzione di appartenenza dipendenti da dette caratteristiche globali (GF).

13. Metodo secondo la rivendicazione 12, caratterizzato dal fatto che detti

gruppi di fattori peso predefiniti (c_{ij}) comprendono gruppi di fattori peso predefiniti orizzontali e gruppi di fattori peso predefiniti verticali, ciascuna regola fuzzy di detto primo insieme essendo associata ad un rispettivo gruppo di fattori peso orizzontali predefiniti, e ciascuna regola fuzzy di detto secondo insieme essendo associata ad un rispettivo gruppo di detti fattori peso predefiniti verticali.

14. Metodo secondo la rivendicazione 13, caratterizzato dal fatto che detti fattori peso ($H1-H5, V1-V5$) comprendono fattori peso orizzontali ($H1-H5$) e fattori peso verticali ($V1-V5$), detti fattori peso orizzontali ($H1-H5$) essendo determinati mediante una media pesata dei fattori peso predefiniti orizzontali con coefficienti peso costituiti dai gradi di attivazione ($\alpha1-\alpha9$) delle regole fuzzy del primo insieme, e detti fattori peso verticali ($V1-V5$) essendo determinati mediante una media pesata dei fattori peso predefiniti verticali con coefficienti di peso costituiti dai gradi di attivazione ($\beta1-\beta9$) delle regole fuzzy del secondo insieme.

15. Metodo secondo la rivendicazione 14, caratterizzato dal fatto che il valore del pixel (P_x) in esame viene modificato applicando i fattori peso orizzontali ($H1-H5$) ai valori dei pixel (P_a-P_d, P_x) della finestra di elaborazione orizzontale (HPW) ed applicando i fattori peso verticali ($V1-V5$) ai valori dei pixel (P_e-P_h, P_x) della finestra di elaborazione verticale (VPW).

16. Dispositivo di post-elaborazione per ridurre artefatti in immagini digitali codificate a blocchi, caratterizzato dal fatto di comprendere:

- primi mezzi (1) alimentati da un'immagine di ingresso (I_n) per stimare caratteristiche globali (MOU) di un blocco di immagine (IB) in esame, dette caratteristiche globali fornendo informazioni su un contenuto medio di bordi di

immagine lungo la direzione orizzontale e verticale di detto blocco di immagine (IB);

- secondi mezzi (7,8,11,12,D) alimentati da detta immagine di ingresso (In) per stimare caratteristiche locali (VS1-VS5,HS1-HS5) per ciascun pixel (Px) del blocco di immagine (IB) in esame, detta caratteristiche locali fornendo informazioni sul contenuto di bordi di immagine lungo le direzioni orizzontale e verticale di un'area di immagine nell'intorno di detto pixel (Px);

- terzi mezzi (9,D,10) alimentati da dette caratteristiche globali (MOUT) e da dette caratteristiche locali (VS1-VS5,HS1-HS5) per modificare il valore di detto pixel (Px) in funzione sia di dette caratteristiche globali (MOUT) che di dette caratteristiche locali (VS1-VS5,HS1-HS5).

17. Dispositivo secondo la rivendicazione 16, caratterizzato dal fatto che detti primi mezzi (1) comprendono mezzi (3,4) per valutare uscite di operatori di Sobel verticale ed orizzontale (Hsob,Vsob) applicati ai pixel di un sotto-blocco di immagine (ISB) interno a detto blocco di immagine (IB) in esame, e mezzi accumulatori (5) per accumulare le uscite dell'operatore di Sobel orizzontale (Hsob) e le uscite dell'operatore di Sobel verticale (Vsob) per ciascun pixel del sotto-blocco di immagine (ISB).

18. Dispositivo secondo la rivendicazione 17, caratterizzato dal fatto che detti secondi mezzi (7,8,11,12,D) comprendono quarti mezzi (7,8) per valutare uscite dell'operatore di Sobel verticale (VS1-VS5) applicato a detto pixel (Px) e a pixel verticalmente vicini (Pe,Pf,Pg,Ph) che precedono e seguono il pixel (Px) nella direzione verticale, e quinti mezzi (11,12,D) per valutare le uscite dell'operatore di Sobel orizzontale (HS1-HS5) applicato a detto pixel (Px) e a pixel orizzontalmente vicini (Pa,Pb,Pc,Pd) che precedono e seguono il pixel

(Px) nella direzione orizzontale.

19. Dispositivo secondo la rivendicazione 18, caratterizzato dal fatto che detti terzi mezzi (9,D,10) comprendono mezzi di filtraggio verticale (9,D) alimentati da dette uscite dell'operatore di Sobel verticale (VS1-VS5) e da dette caratteristiche globali (MOUT) per calcolare un valore filtrato verticalmente (Px) di detto pixel (Px) che dipende da dette caratteristiche globali (MOUT), da dette uscite dell'operatore di Sobel verticale (VS1-VS5) e dai valori di detti pixel verticalmente vicini (Pe,Pf,Pg,Ph), e mezzi di filtraggio orizzontale (10) alimentati da dette caratteristiche globali (MOUT), da dette uscite dell'operatore di Sobel orizzontale (HS1-HS5) e da detto valore filtrato verticalmente (Px) di detto pixel (Px) per calcolare un valore filtrato orizzontalmente di detto pixel (Px) che dipende da dette caratteristiche globali (GF), da dette uscite dell'operatore di Sobel orizzontale (HS1-HS5) e dai valori filtrati verticalmente (Pa,Pb,Px,Pc,Pd) di detto pixel (Px) e dei pixel orizzontalmente vicini (Pa,Pb,Pc,Pd).

20. Dispositivo secondo la rivendicazione 19, caratterizzato dal fatto che detti mezzi di filtraggio verticale (9,D) comprendono primi mezzi di elaborazione fuzzy (13) alimentati da dette uscite dell'operatore di Sobel verticale (VS1-VS5) e da dette caratteristiche globali (MOUT) per valutare gradi di coincidenza (β_1 - β_9) dello schema di uscite dell'operatore di Sobel verticale (VS1-VS5) con un insieme di schemi predefiniti di uscite dell'operatore di Sobel verticale, detti gradi di coincidenza (β_1 - β_9) dipendendo da dette caratteristiche globali (MOUT), una tabella di riferimento di coefficienti di filtro predefiniti (F1-F9) ciascuno associato ad almeno un rispettivo schema di uscite dell'operatore di Sobel verticale, mezzi di

composizione di coefficienti di filtro verticale (14) alimentati da detti coefficienti di filtro verticali predefiniti per generare un insieme di coefficienti di filtro verticale (V1-V5) che sono una media pesata dei coefficienti di filtro verticale predefiniti con coefficienti di peso formati da detti gradi di coincidenza (β_1 - β_9), ed un filtro verticale (15) alimentato da detti coefficienti di filtro verticale (V1-V5) e dai valori del pixel (P_x) e dei pixel verticalmente vicini (P_e, P_f, P_g, P_h) per fornire ad una uscita (FOUT) detto valore filtrato verticalmente del pixel (P_x).

21. Dispositivo secondo la rivendicazione 20, caratterizzato dal fatto che detti mezzi di filtraggio orizzontali (10) comprendono secondi mezzi di elaborazione fuzzy (13) alimentati da dette uscite dell'operatore di Sobel orizzontale (HS1-HS5) e da dette caratteristiche globali (MOUT) per valutare gradi di coincidenza (α_1 - α_9) dello schema di uscite dell'operatore di Sobel orizzontale (HS1-HS5) con un insieme di schemi predefiniti di uscite dell'operatore di Sobel orizzontale, detti gradi di coincidenza (α_1 - α_9) dipendendo da dette caratteristiche globali (MOUT), una tabella di riferimento di coefficienti di filtro orizzontale predefiniti (F1-F9) ciascuno associato ad almeno un rispettivo schema predefinito di uscite dell'operatore di Sobel orizzontale, mezzi di composizione di coefficienti di filtro orizzontale (14) alimentati da detti coefficienti di filtro orizzontale predefiniti (F1-F9) per generare un insieme di coefficienti di filtro orizzontale (H1-H5) che sono una media pesata dei coefficienti di filtro orizzontale predefiniti con coefficienti peso costituiti da detti gradi di coincidenza (α_1 - α_9), ed un filtro orizzontale (15) alimentato da detti coefficienti di filtro orizzontale (H1-H5) e dei valori filtrati verticalmente (P_a, P_b, P_x, P_c, P_d) del pixel (P_x) e dei pixel

orizzontalmente vicini (P_a, P_b, P_c, P_d) per fornire ad una uscita (FOUT) detto valore filtrato orizzontalmente (Out) del pixel (P_x).

“Metodo di post-elaborazione per ridurre artefatti in immagini digitali codificate a blocchi, e dispositivi di post-elaborazione per attuare tale metodo.”

* * * * *

RIASSUNTO

Un metodo di post-elaborazione per ridurre gli artefatti in immagini digitali codificate a blocchi, caratterizzato dal fatto di prevedere: a) la suddivisione di un immagine in ingresso (In) in una pluralità di blocchi di immagine (IB); b) per ciascun blocco di immagine (IB), la stima di caratteristiche globali (GF) di detto blocco di immagine che forniscono informazioni sul contenuto medio di bordi di immagine lungo le direzioni orizzontale e verticale di detto blocco di immagine (IB); c) per ciascun pixel (Px) di un blocco di immagine (IB) in esame, la stima di caratteristiche locali (LF) relative a detto pixel (Px) che forniscono informazioni sul contenuto di bordi di immagine lungo la direzione orizzontale e verticale di un'area di immagine nell'intorno di detto pixel (Px); d) la modifica del valore di detto pixel (Px) in funzione sia di dette caratteristiche globali (GF) del blocco di immagine (IB) cui appartiene detto pixel (Px), sia delle caratteristiche locali (LF) dell'area di immagine nell'intorno di detto pixel (Px). (Figura 1).

“Post-processing method for reducing artifacts in block-coded digital images, and post-processing device for actuating such method.”

* * * * *

DESCRIPTION

5 The present invention relates digital image coding. More precisely, the invention relates to a post-processing method for reducing artifacts in block-coded digital images, and to a post-processing device suitable for actuating such a method.

10 With the diffusion of digital communication systems, digital images are more and more used. This has led to the diffusion of still and video cameras with digital acquisition and processing capability.

15 In order to better exploit storage means and transmission bandwidth, digital image compression standards have been developed, such as JPEG for still images, and MPEG-1 and MPEG-2 for digital television image sequences.

20 The above-referred compression standards provides for block-coding based on Discrete Cosine Transform (DCT). A digital image is divided into blocks of pixels, and each block is encoded independently from the others. DCT coefficients for the pixels of each block are evaluated and a quantization matrix is applied to the DCT coefficients to reduce the information to be stored or transmitted. When the image is to be displayed, it must be decoded in advance.

25 Due to the quantization process, these image compression methods are lossy, i.e. they cause a loss of information in the decoded image with respect to the original image. The decoded image can thus present noticeable degradation, mainly consisting of two kinds of artifacts known in the art under the names of “grid noise” and “staircase noise”.

30 In order to reduce the image degradation, post-processing methods of the decoded image have been proposed which allow for attenuating grid noise and staircase noise.

In view of the state of the art described, it is an object of the present invention to provide a new post-processing method for reducing artifacts in block-coded digital images.

According to the present invention, such object is attained by means of a post-processing method for reducing artifacts in block-coded digital images, characterized by providing for:

- a) dividing an input image into a plurality of image blocks;
- b) for each image block, estimating global features of said image block providing information on an average content of image edges along the horizontal and vertical directions of said image block;
- c) for each pixel of an image block under examination, estimating local features for said pixel providing information on the content of image edges along the horizontal and vertical directions of an image area around said pixel;
- d) modifying the value of said pixel according to both said global features of the image block to which said pixel belongs and said local features of the image area around said pixel.

Also according to the invention, there is also provided a post-processing device for actuating said method, characterized by comprising:

- first means supplied with an input image for estimating global features of an image block under examination, said global features providing information on an average content of image edges along the horizontal and vertical directions of said image block;
- second means supplied with said input image for estimating local features for each pixel of the image block under examination, said local features providing information on the content of image edges along the horizontal and vertical directions of an image area around said pixel;
- third means supplied with said global features and said local features

for modifying the value of said pixel according to both said global features and said local features.

The features and advantages of the present invention will be made apparent from the following detailed description of an embodiment thereof, illustrated as a non-limiting example in the annexed drawings, wherein:

Figure 1 is a schematic block diagram illustrating the principle of operation of a method according to the present invention;

Figure 2 shows a digital image divided into image blocks;

Figure 3 shows in detail an image block into which the digital image of Figure 2 is divided;

Figure 4 shows an array of pixels of the image block of Figure 3;

Figure 5 shows an image sub-block of the image block of Figure 3 used for evaluating global features of the image block;

Figure 6 shows an horizontal processing window used for evaluating local features in the horizontal direction for a generic pixel of the image block;

Figure 7 shows a vertical processing window used for evaluating local features in the vertical direction for said generic pixel;

Figures 8 and 9 shows two membership functions used to perform a fuzzy computation;

Figure 10 is a block diagram of a device according to the present invention;

Figure 11 shows the structure of two blocks of the device of Figure 10; and

Figure 12 is a block diagram of other two blocks of the device of Figure 10.

With reference to Figure 1, there is shown a block diagram illustrating the principle of operation of the post-processing method according to the present invention. An input decoded compressed digital image In is supplied to a Feature Extraction block FE. Block FE provides for analyzing the image

to evaluate global and local features thereof. The global and local features, respectively GF and LF, of the image In evaluated by block FE are supplied as inputs to a Fuzzy Process block FUZZY which, according to fuzzy rules, determines parameters FA suitable for determining the kind of filtering to be performed, in accordance to the global and local features GF and FL of the image. The parameters FA calculated by block FUZZY are supplied to a Filter Composition block FC which according to said parameters FA determines the type of filtering to performed out of a set of predefined filters (block FS). Filter parameters FP determined by block FC are then supplied to a Processing block PROC, also supplied directly with the input image In, which performs the filtering of the input image In according to the filter parameters FP to provide a post-processed output image Out.

It appears that the kind of filtering to be performed on the decoded input image In is chosen after an estimation of the global and local features of the decoded input image. For image areas near grid noise and near an edge, a low-pass filtering is performed, to reduce both staircase noise and grid noise. For areas containing fine details (image edges and texture), no filtering is performed. Thus, the method according to the present invention provides for performing a non-linear adaptive filtering on the pixels of the decoded image.

The principle of operation outlined above will be now described in detail.

As shown in Figure 2, the input image In is partitioned into image blocks IB, each containing an equal number of pixels. A typical dimension of the blocks is 8*8 pixels (Figure 3), but this is not however to be intended as a limitation, since other block dimensions are suitable.

The image blocks IB of the input image In are scanned line by line starting from the top-left block to the bottom-right one. For each image block IB, the Feature Extraction block FE in Figure 1 determines the global and local features GF and LF.

Global features of the image block IB under examination are determined by applying horizontal and vertical Sobel operators:

$$\text{horizontal Sobel operator (Hsob): } \begin{bmatrix} h11 & h12 & h13 \\ h21 & h22 & h33 \\ h31 & h32 & h33 \end{bmatrix};$$

$$\text{vertical Sobel operator (Vsob) : } \begin{bmatrix} v11 & v12 & v13 \\ v21 & v22 & v23 \\ v31 & v32 & v33 \end{bmatrix}$$

5 to each pixel belonging to an image sub-block internal to the image block IB. For example, the following Sobel operators:

$$\text{Hsob: } \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$\text{Vsob: } \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

10 are applied to a 6*6 pixel image sub-block ISB (gray area in Figure 5). As shown in Figure 4, for each pixel P_i of the image sub-block ISB a 3*3 array of neighboring pixels M centered in pixel P_i is considered, and the values of the pixels of said array M are multiplied by the coefficients of the horizontal and vertical Sobel operators, to obtain:

$$\text{Hsob} = (P3+P8+2*P5) - (P1+P6+2*P4),$$

$$\text{Vsob} = (P6+P8+2*P7) - (P1+P3+2*P2),$$

15 where $P1$ - $P4$ and $P5$ - $P8$ are the values of the pixels (gray levels).

As known, horizontal and vertical Sobel operators perform a filtering capable of detecting edges along the horizontal and vertical direction, respectively.

20 The output values of the horizontal Sobel operators calculated for the

pixels of image sub-block ISB are accumulated to obtain an accumulated value $\text{Acc}(\text{Hsob})$, and the output values of the vertical Sobel operators calculated for the pixels of image sub-block ISB are accumulated to obtain an accumulated value $\text{Acc}(\text{Vsob})$. $\text{Acc}(\text{Hsob})$ gives the high-frequency content in the horizontal direction (vertical edges) of the image block IB. $\text{Acc}(\text{Vsob})$ gives the high-frequency content in the vertical direction (horizontal edges) of image block IB. Thus, $\text{Acc}(\text{Hsob})$ and $\text{Acc}(\text{Vsob})$ respectively provide the degree of “edgeness” of the image block under examination in the vertical and horizontal directions. It is to be noted that in order to evaluate the global features GF of the image block IB under examination, only the pixels belonging to this block are considered (by applying 3×3 Sobel operators to the 6×6 image sub-block ISB, it is not necessary to take into consideration pixels belonging to neighboring image blocks).

Global features GF of the image block under examination can be formed by the accumulated values $\text{Acc}(\text{Hsob})$ and $\text{Acc}(\text{Vsob})$. Alternatively, the global features GF of the image block can be formed by an average of the accumulated values $\text{Acc}(\text{Hsob})$ and $\text{Acc}(\text{Vsob})$, to obtain the average number of edges in the horizontal and vertical directions in the image block under examination.

Local features LF of the image block IB are estimated according to the following method. All the pixels of the image block IB under examination are scanned line by line starting from the top-left pixel down to the bottom-right one. To each pixel a horizontal processing window is applied: a prescribed number of pixels respectively preceding and following the pixel under consideration and belonging to the same image line of the pixel under consideration is considered. A suitable horizontal processing window HPW is shown in Figure 6, which is a horizontal 1×5 processing window: for a given pixel, the two preceding pixels P_a , P_b and the two following pixels P_c , P_d belonging to the same line are considered. In Figure 6 there is shown by

way of example the horizontal processing window HPW associated to the first pixel P_x of the image block. It should be noted that not only the pixels of the image block IB under examination are considered, but also pixels belonging to neighboring image blocks; this is for example the case of the first, second, seventh and eight pixel of each line of pixels of the image block IB under examination.

The horizontal Sobel operator H_{sob} previously mentioned is applied to each pixel P_a, P_b, P_x, P_c, P_d in the horizontal processing window HPW, to obtain five output values $HS1-HS5$. Values $HS1-HS5$ provide the local features in the horizontal direction for the pixel under examination P_x , i.e. the high-frequency content in the horizontal direction of the image region around the pixel under examination.

Similarly, a vertical processing window is applied to each pixel of the image block IB. The vertical processing window is formed by the pixel under consideration P_x , and a prescribed number of pixels belonging to the same column as and preceding and following the pixel under consideration; for example, as shown in Figure 7 the vertical processing window VPW can have dimensions identical to the horizontal processing window HPW (5×1), and thus contains two pixels P_e, P_f preceding pixel P_x and two pixels P_g, P_h following pixel P_x in the vertical direction.

The vertical Sobel operator V_{sob} previously mentioned is then applied to each pixel of the vertical processing window VPW to obtain five output values $VS1-VS5$. Values $VS1-VS5$ form the local features in the vertical direction for the pixel under examination, i.e. the high-frequency content in the vertical direction of an image region around the pixel under examination.

The global features GF for the image block IB under examination (i.e., the two accumulated values $Acc(H_{sob})$ and $Acc(V_{sob})$ or, in alternative, the average value of $Acc(H_{sob})$ and $Acc(V_{sob})$) and the local features LF for the pixel under examination inside said image block (the ten values $HS1-HS5$ and $VS1-VS5$) are then supplied to the Fuzzy Process block FUZZY.

This block provides for evaluating the degree of membership of a generic value HS_i and V_{si} ($i=1..5$) to two fuzzy sets “Small” and “Big”; these degree of membership can be evaluated by applying to HS_i , V_{si} the membership functions depicted in Figures 8 and 9. In these figures, Th_1 and Th_2 are values depending on the global features GF of the image block under examination, i.e. on the accumulated values $Acc(Hsob)$ and $Acc(Vsob)$ or on the average of the accumulated values; in the first case, Th_1 and Th_2 are different for the HS_i and V_{si} values; in the second case, Th_1 and Th_2 are the same for HS_i and V_{si} values.

Fuzzy rules having as antecedents the degrees of membership of the output values HS_i and V_{si} to the two fuzzy sets “Small” and “Big” are then evaluated. This means that 32 rules are to be evaluated for both the horizontal and vertical directions. However, all those fuzzy rules having the same consequence are synthesized in one rule only by an else operator. In this way, the system complexity is reduced, and a total of nine rules for each direction have to be evaluated.

The following fuzzy rules are applied to the five values HS_1 - HS_5 associated to the horizontal direction:

1. *If HS_1 is Small and HS_2 is Small and HS_3 is Small and HS_4 is Small and HS_5 is Small, then α_1 is Big;*
2. *If HS_1 is Small and HS_2 is Small and HS_3 is Small and HS_4 is Small and HS_5 is Big, then α_2 is Big;*
3. *If HS_1 is Small and HS_2 is Small and HS_3 is Small and HS_4 is Big and HS_5 is Small, then α_3 is Big;*
4. *If HS_1 is Small and HS_2 is Small and HS_3 is Small and HS_4 is Big and HS_5 is Big, then α_4 is Big;*
5. *If HS_1 is Small and HS_2 is Big and HS_3 is Small and HS_4 is Small and HS_5 is Small, then α_5 is Big;*
6. *If HS_1 is Big and HS_2 is Small and HS_3 is Small and HS_4 is Small and HS_5 is Small, then α_6 is Big;*

7. *If HS1 is Big and HS2 is Small and HS3 is Small and HS4 is Small and HS5 is Big, then α_7 is Big;*

8. *If HS1 is Big and HS2 is Big and HS3 is Small and HS4 is Small and HS5 is Small, then α_8 is Big.*

5 The activation level of each rule depends on the degree of memberships of the pattern of output values HS_i of the horizontal Sobel operator applied to the five pixels of the horizontal processing window HPW; the degree of memberships depend in turn on the global features GF of the image block to which the pixel under examination belongs. The activation level of the else
10 (ninth) rule is computed as $\alpha_{\text{else}} = (1 - \alpha_{\text{ave}})$, where α_{ave} is the average activation degree of fuzzy rules 1 to 8. α_1 to α_8 and α_{else} , and a similar set of nine activation degrees for the fuzzy rules applied to values VS1-VS5) form the output FA of the fuzzy process block FUZZY in Figure 1.

15 Each one of the above-listed rules is associated to a respective set of predefined filter parameters, which are stored as a look-up table in block FS of Figure 1. Suitable predefined filter parameter sets are for example:

Rule 1: ($c_{11}=1.0, c_{12}=1.0, c_{13}=1.0, c_{14}=1.0, c_{15}=1.0$) if the pixel under examination lies outside the image sub-block ISB, and
($c_{11}=0.0, c_{12}=1.0, c_{13}=1.0, c_{14}=1.0, c_{15}=0.0$) if the pixel under
20 examination lies inside the image sub-block ISB;

Rule 2: ($c_{21}=0.5, c_{22}=1.0, c_{23}=1.0, c_{24}=1.0, c_{25}=0.0$);

Rule 3: ($c_{31}=0.5, c_{32}=1.0, c_{33}=1.0, c_{34}=0.0, c_{35}=0.0$);

Rule 4: ($c_{41}=0.5, c_{42}=1.0, c_{43}=1.0, c_{44}=0.0, c_{45}=0.0$);

Rule 5: ($c_{51}=0.0, c_{52}=0.0, c_{53}=1.0, c_{54}=1.0, c_{55}=0.5$);

25 Rule 6: ($c_{61}=0.0, c_{62}=1.0, c_{63}=1.0, c_{64}=1.0, c_{65}=0.5$);

Rule 7: ($c_{71}=0.0, c_{72}=1.0, c_{73}=1.0, c_{74}=1.0, c_{75}=0.0$);

Rule 8: ($c_{81}=0.0, c_{82}=0.0, c_{83}=1.0, c_{84}=1.0, c_{85}=0.5$);

Else rule: ($c_{91}=0.0, c_{92}=0.0, c_{93}=1.0, c_{94}=0.0, c_{95}=0.0$).

30 The parameters FP of the filter to be applied to the five pixels of the horizontal processing window HPW are calculated as a weighted average of

the nine filters described above, with weight factors formed by the activation degrees α_1 to α_8 and α_{else} of the respective fuzzy rules.

Assuming that α_i is the activation degree of the i -th fuzzy rule ($i=1..9$), the ninth fuzzy rule being the else fuzzy rule ($\alpha_9 = \alpha_{\text{else}}$), and c_{ij} are the coefficients of the i -th filter ($i=1..9, j=1..5$), the weight factor applied to the i -th filter, associated to the i -th fuzzy rule is:

$$F_i = \alpha_i \bullet c_{ij}$$

and the coefficients H_j of the final horizontal filter to be applied to the pixels of the horizontal processing window HPW are given by:

$$H_j = \frac{\sum_{i=1}^9 \alpha_i \bullet c_{ij}}{N}$$

where N is a normalization factor.

The horizontally-filtered value P_x of the pixel P_x under examination (at the center of the horizontal processing window) is then calculated as a weighted average of the values of the pixels P_a, P_b, P_x, P_c and P_d belonging to the horizontal processing window HPW, with weight factors formed by the coefficients H_j :

$$P_x = H_1 \cdot P_a + H_2 \cdot P_b + H_3 \cdot P_x + H_4 \cdot P_c + H_5 \cdot P_d.$$

Similar calculations are performed for the vertical direction, starting from the output values $VS1$ - $VS5$ of the vertical Sobel operators applied to the pixels P_e, P_f, P_x, P_g and P_h in the vertical processing window VPW. The coefficients V_j ($j=1..5$) of the filter for the vertical direction are calculated in a way completely similar to that used for determining the coefficients H_j :

$$V_j = \frac{\sum_{i=1}^9 \beta_i \bullet c_{ij}}{N}$$

where β_i ($i=1..9$) are the activation degrees of nine fuzzy rules for the

vertical direction (similar to those listed above for the horizontal direction) and c_{ij} ($j=1..5$) now are the predefined filter parameters associated to the i -th fuzzy rule for the vertical direction. The coefficients V_j are then applied to the pixels in the vertical processing window VPW to calculate a weighted average of the same. The filtered value of the pixel P_x under examination, filtered in both the horizontal and vertical direction, is provided at the output Out of the processing block PROC.

The value of the pixel P_x under examination to be multiplied by the vertical filter coefficient V_3 can be the value $\underline{P_x}$ obtained after having applied to the pixels in the horizontal processing window HPW the horizontal filter H_j ($j=1..5$):

$$\text{Out} = V_1 * P_e + V_2 * P_f + V_3 * \underline{P_x} + V_4 * P_g + V_5 * P_h.$$

Alternatively, it is possible to evaluate first the vertically-filtered value $\underline{P_x}$ of the pixel under examination:

$$\underline{P_x} = V_1 * P_e + V_2 * P_f + V_3 * P_x + V_4 * P_g + V_5 * P_h,$$

and then performing the filtering in the horizontal direction applying to this value the respective coefficient H_3 of the horizontal filter H_j :

$$\text{Out} = H_1 * P_a + H_2 * P_b + H_3 * \underline{P_x} + H_4 * P_c + H_5 * P_d.$$

The sequence is of no importance, the important thing to be underlined being that at the end of the process the value of the pixel under examination is the result of both an horizontal and a vertical filtering.

Figure 10 is a block diagram of a device suitable for actuating the method previously described. The device comprises two main blocks: a first block 1 evaluates the global features GF of the image blocks IB the image to be post-processed is divided in, and a second block 2 evaluates the local features LF of the pixels of the image and performs the filtering according to both the global features and the local features.

It is assumed that the image to be post-processed is scanned line by line in a sequential order. Signal In is a stream of pixels of the input image scanned line by line. Block 1 is supplied with signal In; signal In also

supplies a cascade of two line memories LM1 and LM2 whose outputs supplies block 1.

Inside block 1, signal In and the outputs of line memories LM1 and LM2 supply a block 3 of pixel delays suitable for implementing a 3*3 pixel window which is used to calculate horizontal and vertical Sobel operators for the pixels of the 6*6 image sub-block ISB inside each image block IB. Block 3 supplies a block 4 which calculates the outputs Hsob and Vsob of the horizontal and vertical Sobel operators for those pixels of the current image line belonging to the 6*6 image sub-blocks ISB of each image block IB. The outputs Hsob and Vsob of block 4 are supplied to an accumulator block 5 wherein they are accumulated. After eight image lines, i.e. a line of image blocks IB, have been scanned, the accumulated values Acc(Hsob), Acc(Vsob) (or alternatively the average thereof) for each image block IB are stored in a memory block 6.

The output of line memory LM2 supplies a cascade of eight further line memories LM3-LM10. Block 2 is supplied in parallel with the outputs of line memories LM4-LM10. In this way, evaluation of the local features and calculation of the filter parameters starts after block 1 has estimated the global features GF for a line of image blocks IB.

Inside block 2, a block 7 of pixel delays is supplied with the outputs of line memories LM4-LM10; by means of the line memories LM4-LM10 and the pixel delay block 7 it is possible to implement the 5*1 vertical processing window VPW. The outputs L4-L10 of the pixel delays block 7 supply a block 8 which applies the vertical Sobel operator to each pixel inside the vertical processing window VPW. To avoid the use of further line memories, a parallel approach is preferred providing for calculating five vertical Sobel operators in parallel; the outputs of the five vertical Sobel operators VS1-VS5 are supplied to a vertical fuzzy filter 9, which is also supplied with the outputs L6-L10 of the pixel delay block 7 and the output MOUT of the memory MEM of block 1. MOUT supplies the global features

GF of the image block IB currently processed by block 2, i.e. the accumulated value $\text{Acc}(\text{Vsob})$ or, alternatively, the average of $\text{Acc}(\text{Vsob})$ and $\text{Acc}(\text{Hsob})$. The vertical fuzzy filter block 9 evaluates the degree of membership of values VS1-VS5 to the fuzzy sets “Small” and “Big” taking into account the global features provided by MOUT, evaluates the activation levels of the nine fuzzy rules for the vertical direction, calculates the coefficients V_j ($j=1..5$) of the vertical filter and applies the vertical filter coefficients V_j to the five pixels P_e, P_f, P_x, P_g, P_h in the vertical processing window VPW, to calculate the vertically-filtered value $\underline{P_x}$ of the pixel in the middle of the vertical processing window. The output of the vertical fuzzy filter block 9 forms the vertically-filtered value $\underline{P_d}$ of pixel P_d in the horizontal processing window HPW shown in Figure 6 and supplies directly a horizontal fuzzy filter block 10; the output $\underline{P_d}$ of block 9 also supplies a cascade of four pixel delays D whose outputs respectively form the vertically-filtered values $\underline{P_c}, \underline{P_x}, \underline{P_b}, \underline{P_a}$ of the pixels P_c, P_x, P_b, P_a in the horizontal processing window HPW and supply the horizontal fuzzy filter block 10.

In parallel to blocks 8 and 9, the outputs L7-L9 of the pixel delay block 7 supply a block 11 which applies the horizontal Sobel operators to the pixels inside the horizontal processing window HPW. Differently from the vertical sobel operators, only one horizontal sobel operator is calculated at a time; a compensation delay block 12 introduces a delay for compensating the processing delay of the vertical fuzzy filter block 9. The output of block 12, forming the output of the horizontal Sobel operator HS5 applied to pixel P_d of the horizontal processing window in Figure 6, supplies the horizontal fuzzy filter block 10 and a cascade of four pixel delays D, the outputs thereof forming the values HS4, HS3, HS2 and HS1 and supplying the horizontal fuzzy filter block 10. The horizontal fuzzy filter block 10, which is also supplied by the output MOUT of the memory block MEM in block 1 providing the value $\text{Acc}(\text{Hsob})$ (or alternatively the average of values

Acc(Hsob) and Acc(Vsob)), evaluates the degree of membership of values HS1-HS5 to the fuzzy sets “Small” and “Big” according to the value of the global features GF provided by MOUT, evaluates the activation levels of the nine fuzzy rules described above for the filtering in the horizontal direction, calculates the coefficients H_j of the horizontal filter and applies the parameters H_j to the vertically-filtered values $\underline{P_a}$, $\underline{P_b}$, $\underline{P_x}$, $\underline{P_c}$, $\underline{P_d}$ of the pixels P_a , P_b , P_x , P_c , P_d in the horizontal processing window HPW to obtain the horizontally- and vertically-filtered value Out of the pixel P_x under examination.

A control circuit CTRL controls the operation of blocks 1, 2 and the line memories LM1-LM10.

Figure 11 shows the structure of the vertical and horizontal Sobel operator blocks 8 and 11 of Figure 10. They are composed in a straightforward way by adders.

Figure 12 shows the structure of both the vertical fuzzy filter block 9 and the horizontal fuzzy filter block 10. X_1 - X_5 are the vertical or, respectively, horizontal Sobel operator outputs VS1-VS5 and HS1-HS5. X_1 - X_5 are supplied to a fuzzy rule evaluation block 13 which evaluates the activation degrees β_1 - β_9 of the nine fuzzy rules for the vertical direction or, respectively, the activation degrees α_1 - α_9 of the nine fuzzy rules for the horizontal direction. The activation degrees evaluated by block 13 are supplied to a look-up table of respective predefined filter parameters F_1 - F_9 (forming block FS in Figure 1), and the outputs of the look-up table, i.e. the predefined filter parameters c_{ij} multiplied by the activation degree of the respective fuzzy rule, are supplied to a filter composition block 14 which calculates the coefficients V_1 - V_5 or, respectively, H_1 - H_5 , of the vertical or, respectively, horizontal filter. Said coefficients are then supplied to a processing block 15 which is also supplied with the pixel values PXS (L_6 - L_{10} or, respectively, $\underline{P_a}$, $\underline{P_b}$, $\underline{P_x}$, $\underline{P_c}$, $\underline{P_d}$ in Figure 10); block 15 applies the filter coefficients to the pixel values to obtain the filtered value of the pixel

under examination Px.

CLAIMS

1. Post-processing method for reducing artifacts in block-coded digital images, characterized by providing for:

a) dividing an input image (In) into a plurality of image blocks (IB);

5 b) for each image block (IB), estimating global features (GF) of said image block providing information on an average content of image edges along the horizontal and vertical directions of said image block (IB);

 c) for each pixel (Px) of an image block (IB) under examination, estimating local features (LF) for said pixel (Px) providing information on the content of image edges along the horizontal and vertical directions of an
10 image area near said pixel (Px);

 d) modifying the value of said pixel (Px) according to both said global features (GF) of the image block (IB) to which said pixel (Px) belongs and said local features (LF) of the image area near said pixel (Px).

15 2. Method according to claim 1, characterized in that step d) provides for:

 d1) defining a set of predefined local features;

 d2) determining degrees of coincidence ($\alpha 1-\alpha 9, \beta 1-\beta 9$) of said local features (LF) of the image area around said pixel (Px) with each
20 predefined local features of said set, said degrees of coincidence ($\alpha 1-\alpha 9, \beta 1-\beta 9$) depending on said global features (GF) of the image block (IB) to which said pixel (Px) belongs;

 d3) making the value of said pixel (Px) equal to a weighted average ($P_x, \underline{P_x}$) of the value of said pixel (Px) and of the values of
25 neighboring pixels (Pa-Pd, Pe-Pf), with weight factors (H1-H5, V1-V5) depending on said degrees of coincidence of said local features (LF) with each of said predefined local features.

 3. Method according to claim 2, characterized in that said determining the degrees of coincidence ($\alpha 1-\alpha 9, \beta 1-\beta 9$) in step d2) provides for
30 performing a fuzzy calculation.

4. Method according to claim 3, characterized in that each of said predefined local features is associated to a respective group of predefined weight factors (c_{ij}), and each of said weight factors ($H1-H5, V1-V5$) is calculated as a weighted average of corresponding predefined weight factors (c_{ij}) of said groups with weight coefficients ($\alpha1-\alpha9, \beta1-\beta9$) depending on said degrees of coincidence of said local features (LF) with each of said predefined local features.

5. Method according to claim 4, characterized in that said estimating global features (GF) of the image block (IB) under examination provides for applying horizontal and vertical Sobel operators (H_{sob}, V_{sob}) to pixels belonging to an image sub-block (ISB) internal to said image block (IB) under examination.

6. Method according to claim 5, characterized in that said estimating global features (GF) of the image block (IB) under examination provides for adding outputs of the horizontal Sobel operators (H_{sob}) applied to each pixel of said image sub-block (ISB) to obtain an accumulated output of horizontal Sobel operators ($Acc(H_{sob})$), and adding outputs of the vertical Sobel operators (V_{sob}) applied to each pixel of said image sub-block (ISB) to obtain an accumulated output of vertical Sobel operators ($Acc(V_{sob})$).

7. Method according to claim 6, characterized in that said global features (GF) of the image block (IB) under examination are formed by said accumulated outputs of the horizontal and vertical Sobel operators ($Acc(H_{sob}), Acc(V_{sob})$).

8. Method according to claim 6, characterized in that said global features (GF) of the image block (IB) under examination are formed by an average of said accumulated outputs of the horizontal and vertical Sobel operators ($Acc(H_{sob}), Acc(V_{sob})$).

9. Method according to claim 7 or 8, characterized in that said estimating local features (LF) for a pixel (P_x) of the image block (IB) under examination provides for:

c1) considering an horizontal processing window (HPW) containing the pixel (Px) under examination and neighboring pixels (Pa,Pb,Pc,Pd) belonging to a same image line as the pixel (Px) and preceding and following the pixel (Px);

5 c2) applying said horizontal Sobel operator (Hsob) to each pixel (Pa-Pd,Px) of the horizontal processing window (HPW) to obtain a horizontal pattern of horizontal Sobel operator outputs (HS1-HS5);

 c3) considering a vertical processing window (VPW) containing the pixel (Px) under examination and neighboring pixels (Pe,Pf,Pg,Ph) belonging to a same column of pixels as the pixel (Px) and preceding and following the pixel (Px);

 c4) applying said vertical Sobel operator (Vsob) to each pixel (Pe-Ph,Px) of the vertical processing window (VPW) to obtain a vertical pattern of vertical Sobel operator outputs (VS1-VS5).

15 10. Method according to claim 9, characterized in that said horizontal and vertical processing windows (HPW,VPW) contains each one five pixels and are centered at said pixel (Px) under examination.

 11. Method according to claim 10, characterized in that step d2) provides for determining degrees of membership of each horizontal Sobel operator output (HS1-HS5) of the horizontal pattern to a first fuzzy set "Small" and to a first fuzzy set "Big", evaluating activation degrees (α_1 - α_9) of a first set of fuzzy rules each one associated with at least one predefined horizontal pattern of horizontal Sobel operator outputs, determining degrees of membership of each vertical Sobel operator output (VS1-VS5) of the vertical pattern to a second fuzzy set "Small" and to a second fuzzy set "Big" and evaluating activation degrees (β_1 - β_9) of a second set of fuzzy rules each one associated with at least one predefined vertical pattern of vertical Sobel operator outputs.

 12. Method according to claim 11, characterized in that said
30 determining degrees of membership of the horizontal Sobel operator outputs

(HS1-HS5) of the horizontal pattern to said first fuzzy sets “Small” and “Big” provides for determining a first and a second membership functions depending on said global features (GF), and said determining degrees of membership of the vertical Sobel operator outputs (VS1-VS5) of the vertical pattern to said second fuzzy sets “Small” and “Big” provides for determining a third and fourth membership functions depending on said global features (GF).

13. Method according to claim 12, characterized in that said groups of predefined weight factors (c_{ij}) comprise groups of predefined horizontal weight factors and groups of predefined vertical weight factors, each fuzzy rule of said first set being associated with a respective one of said groups of predefined horizontal weight factors, and each fuzzy rule of said second set being associated with a respective one of said groups of predefined vertical weight factors.

14. Method according to claim 13, characterized in that said weight factors (H1-H5, V1-V5) comprise horizontal weight factors (H1-H5) and vertical weight factors (V1-V5), said horizontal weight factors (H1-H5) being determined by making a weighted average of the predefined horizontal weight factors with weight coefficients being formed by the activation degrees (α_1 - α_9) of the fuzzy rules of the first set, and said vertical weight factors (V1-V5) being determined by making a weighted average of the predefined vertical weight factors with weight coefficients formed by the activation degrees (β_1 - β_9) of the fuzzy rules of the second set.

15. Method according to claim 14, characterized in that the value of the pixel (P_x) under examination is modified by applying the horizontal weight factors (H1-H5) to the values of the pixels (P_a - P_d, P_x) in the horizontal processing window (HPW) and applying the vertical weight factors (V1-V5) to the values of the pixels (P_e - P_h, P_x) in the vertical processing window (VPW).

16. Post-processing device for reducing artifacts in block-coded digital

images, characterized by comprising:

- first means (1) supplied with an input image (In) for estimating global features (MOUT) of an image block (IB) under examination, said global features providing information on an average content of image edges along the horizontal and vertical directions of said image block (IB);
- second means (7,8,11,12,D) supplied with said input image (In) for estimating local features (VS1-VS5,HS1-HS5) for each pixel (Px) of the image block (IB) under examination, said local features providing information on the content of image edges along the horizontal and vertical directions of an image area around said pixel (Px);
- third means (9,D,10) supplied with said global features (MOUT) and said local features (VS1-VS5,HS1-HS5) for modifying the value of said pixel (Px) according to both said global features (MOUT) and said local features (VS1-VS5,HS1-HS5).

17. Device according to claim 16, characterized in that said first means (1) comprises means (3,4) for evaluating horizontal and vertical Sobel operator outputs (Hsob,Vsob) of horizontal and vertical Sobel operators applied to pixels of an image sub-block (ISB) internal to said image block (IB) under examination, and accumulator means (5) for accumulating the horizontal Sobel operator outputs (Hsob) and the vertical Sobel operator outputs (Vsob) for each pixel of the image sub-block (ISB).

18. Device according to claim 17, characterized in that said second means (7,8,11,12,D) comprises fourth means (7,8) for evaluating vertical Sobel operator outputs (VS1-VS5) of vertical Sobel operators (Vsob) applied to said pixel (Px) and to vertically-neighboring pixels (Pe,Pf,Pg,Ph) preceding and following the pixel (Px) in the vertical direction, and fifth means (11,12,D) for evaluating horizontal Sobel operator outputs (HS1-HS5) of horizontal Sobel operators (Hsob) applied to said pixel (Px) and to

horizontally-neighboring pixels (P_a, P_b, P_c, P_d) preceding and following the pixel (P_x) in the horizontal direction.

19. Device according to claim 18, characterized in that said third means (9,D,10) comprises vertical filter means (9,D) supplied with said vertical Sobel operator outputs (VS1-VS5) and said global features (MOUT) for calculating a vertically-filtered value ($\underline{P_x}$) of said pixel (P_x) depending on said global features (MOUT), said vertical Sobel operator outputs (VS1-VS5) and the values of said vertically-neighboring pixels (P_e, P_f, P_g, P_h), and horizontal filter means (10) supplied with said global features (MOUT), said horizontal Sobel operator outputs (HS1-HS5) and said vertically-filtered value ($\underline{P_x}$) of said pixel (P_x) for calculating a horizontally-filtered value of said pixel (P_x) depending on said global features (MOUT), said horizontal Sobel operator outputs (HS1-HS5) and the vertically-filtered values ($\underline{P_a}, \underline{P_b}, \underline{P_x}, \underline{P_c}, \underline{P_d}$) of said pixel (P_x) and said horizontally-neighboring pixels (P_a, P_b, P_c, P_d).

20. Device according to claim 19, characterized in that said vertical filter means (9,D) comprises first fuzzy computation means (13) supplied with said vertical Sobel operator outputs (VS1-VS5) and said global features (MOUT) for evaluating degrees of coincidence (β_1 - β_9) of the pattern of vertical Sobel operator outputs (VS1-VS5) with a set of predefined patterns of vertical Sobel operator outputs, said degrees of coincidence (β_1 - β_9) depending on said global features (MOUT), a look-up table of predefined vertical filter coefficients (F1-F9) each one associated to at least one respective predefined pattern of vertical Sobel operator outputs, a vertical filter coefficients composition means (14) supplied with said predefined vertical filter coefficients for generating a set of vertical filter coefficients (V1-V5) which are a weighted average of the predefined vertical filter coefficients with weight coefficients formed by said degrees of coincidence (β_1 - β_9), and a vertical filter (15) supplied with said vertical filter coefficients (V1-V5) and the values of the pixel (P_x) and the vertically-

neighboring pixels (Pe,Pf,Pg,Ph) for providing at an output (FOUT) said vertically-filtered value of the pixel (Px).

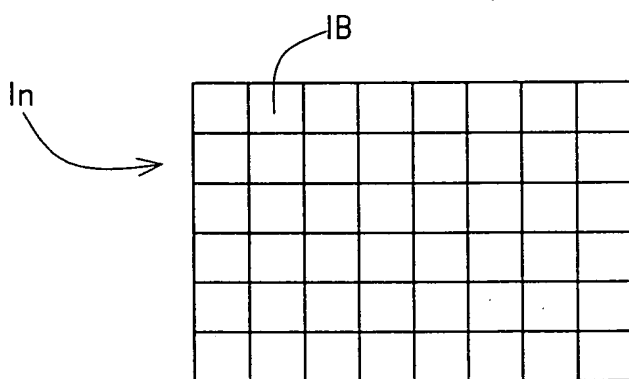
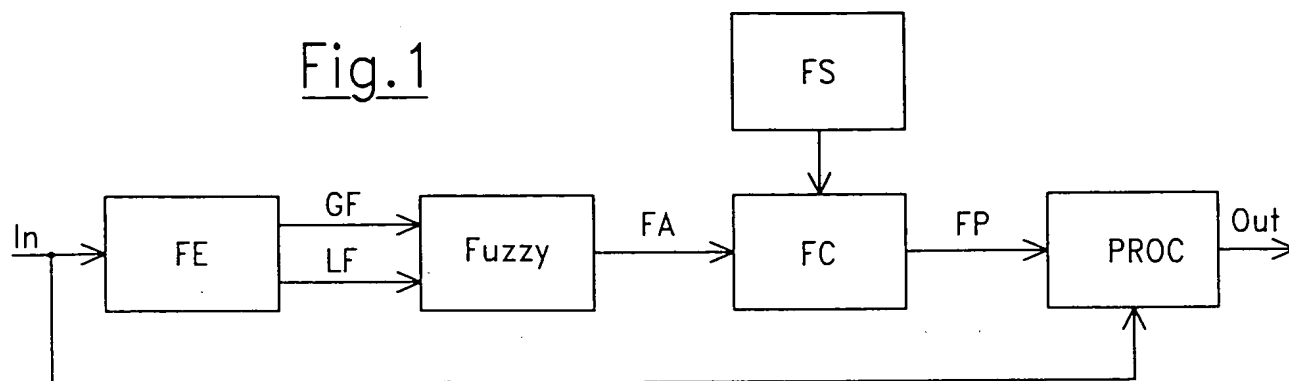
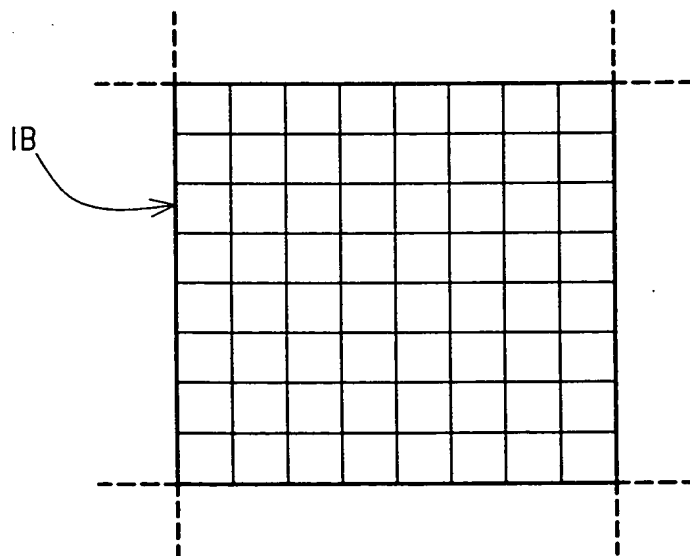
21. Device according to claim 20, characterized in that said horizontal filter means (10) comprises second fuzzy computation means (13) supplied with said horizontal Sobel operator outputs (HS1-HS5) and said global features (MOUT) for evaluating degrees of coincidence ($\alpha 1$ - $\alpha 9$) of the pattern of horizontal Sobel operator outputs (HS1-HS5) with a set of predefined patterns of horizontal Sobel operator outputs, said degrees of coincidence ($\alpha 1$ - $\alpha 9$) depending on said global features (MOUT), a look-up table of predefined horizontal filter coefficients (F1-F9) each one associated to at least one respective predefined pattern of horizontal Sobel operator outputs, a horizontal filter coefficients composition means (14) supplied with said predefined horizontal filter coefficients (F1-F9) for generating a set of horizontal filter coefficients (H1-H5) which are a weighted average of the predefined horizontal filter coefficients with weight coefficients formed by said degrees of coincidence ($\alpha 1$ - $\alpha 9$), and a horizontal filter (15) supplied with said horizontal filter coefficients (H1-H5) and the vertically-filtered values (Pa,Pb,Px,Pc,Pd) of the pixel (Px) and the horizontally-neighboring pixels (Pa,Pb,Pc,Pd) for providing at an output (FOUT) said horizontally-filtered value (O_{ut}) of the pixel (Px).

“Post-processing method for reducing artifacts in block-coded digital images, and post-processing device for actuating such method.”

* * * * *

ABSTRACT

5 A post-processing method for reducing artifacts in block-coded digital images, characterized by providing for: dividing an input image (In) into a plurality of image blocks (IB); for each image block (IB), estimating global features (GF) of said image block providing information on an average content of image edges along the horizontal and vertical directions of said
10 image block (IB); for each pixel (Px) of an image block (IB) under examination, estimating local features (LF) for said pixel (Px) providing information on the content of image edges along the horizontal and vertical directions of an image area near said pixel (Px); modifying the value of said pixel (Px) according to both said global features (GF) of the image block
15 (IB) to which said pixel (Px) belongs and said local features (LF) of the image area near said pixel (Px). (Figure 1).

Fig.1Fig.2Fig.3

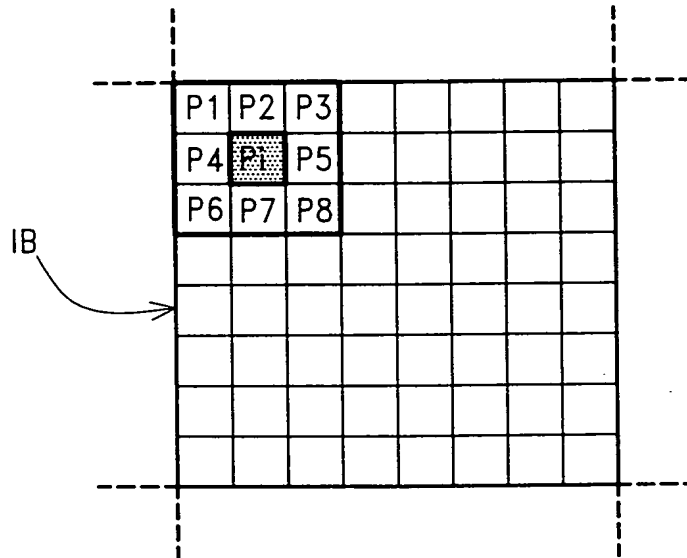


Fig. 4

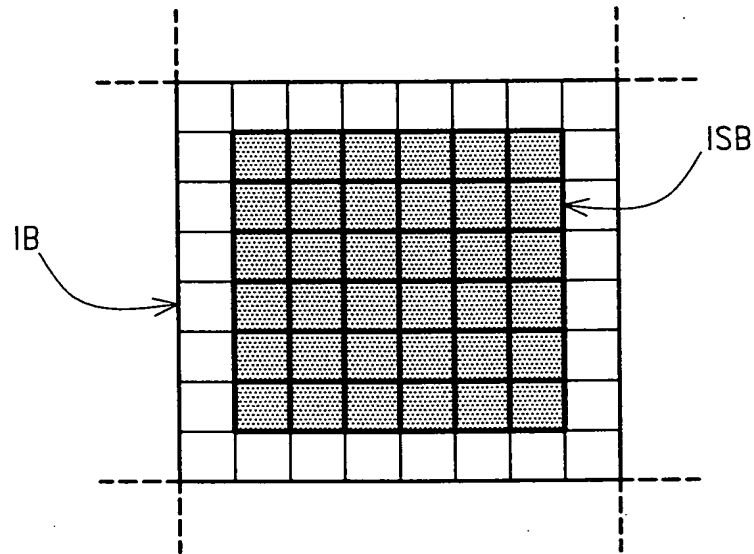


Fig. 5

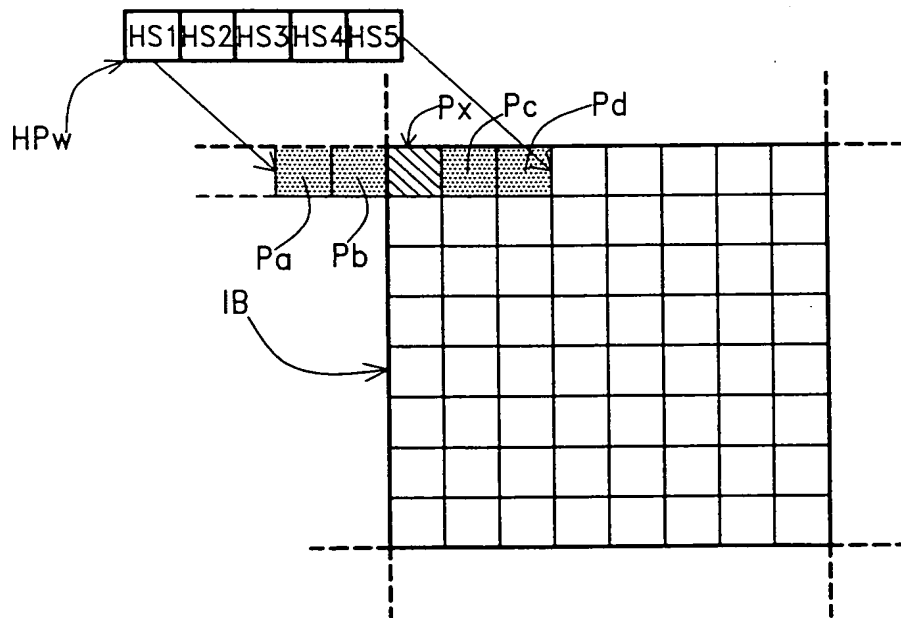


Fig. 6

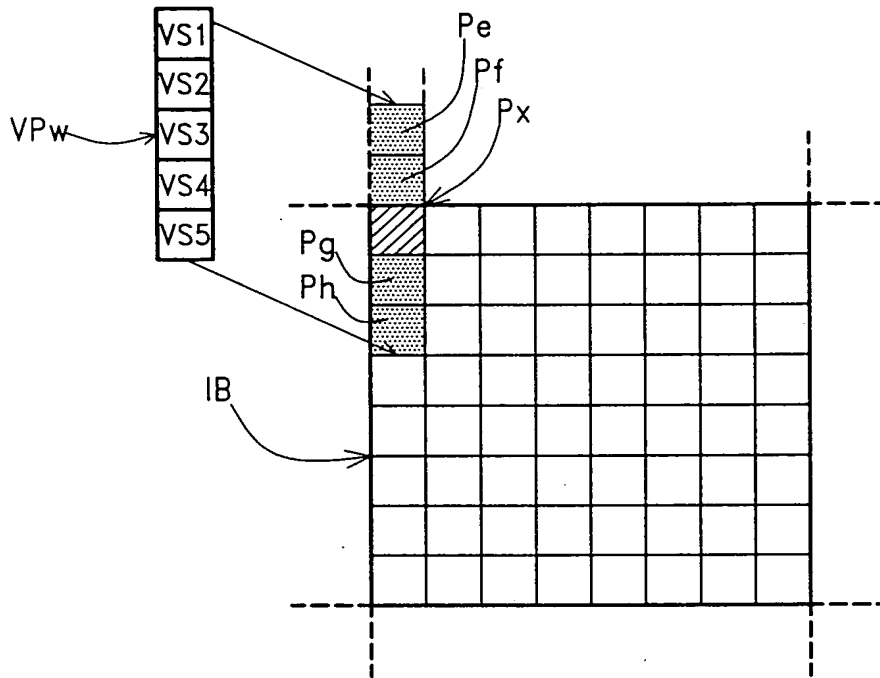


Fig.7

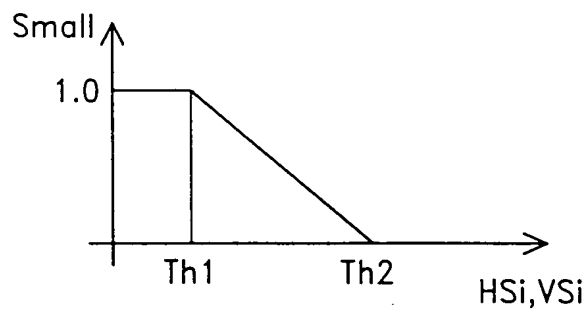


Fig.8

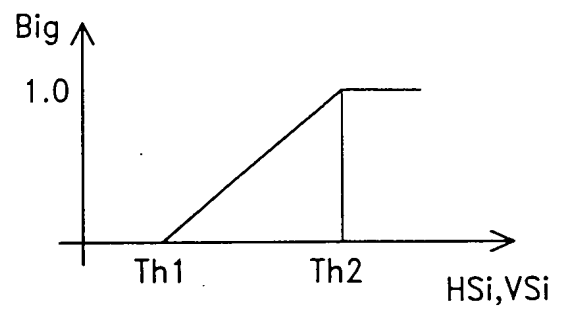


Fig.9

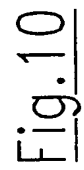


Fig.10

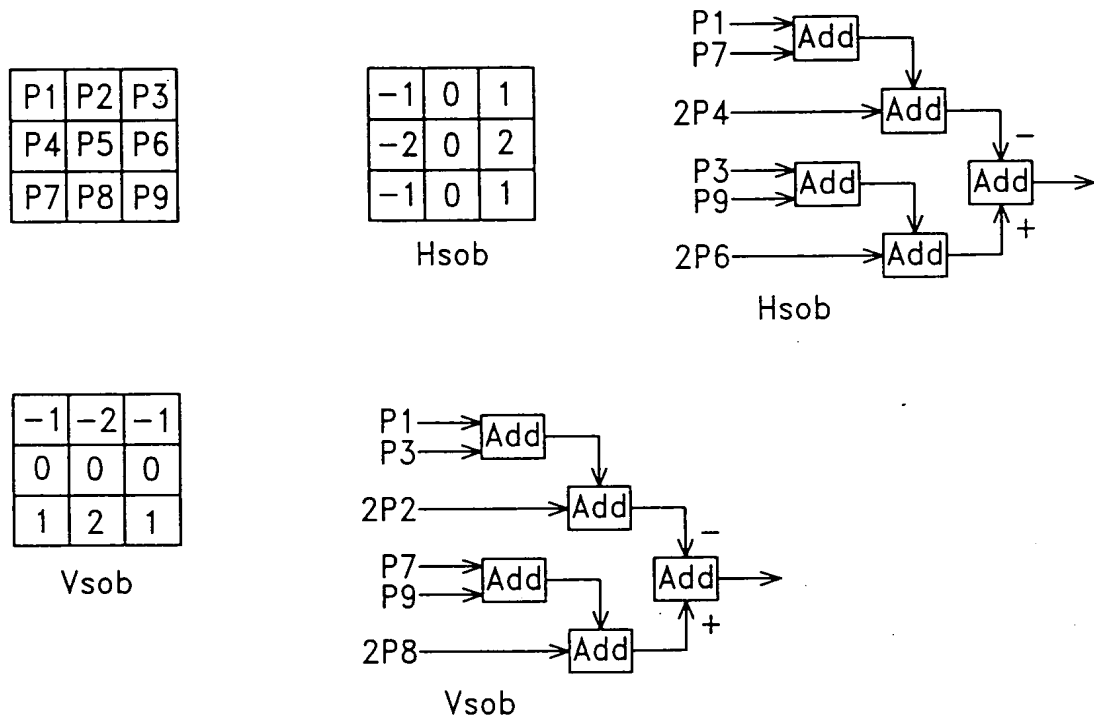


Fig.11

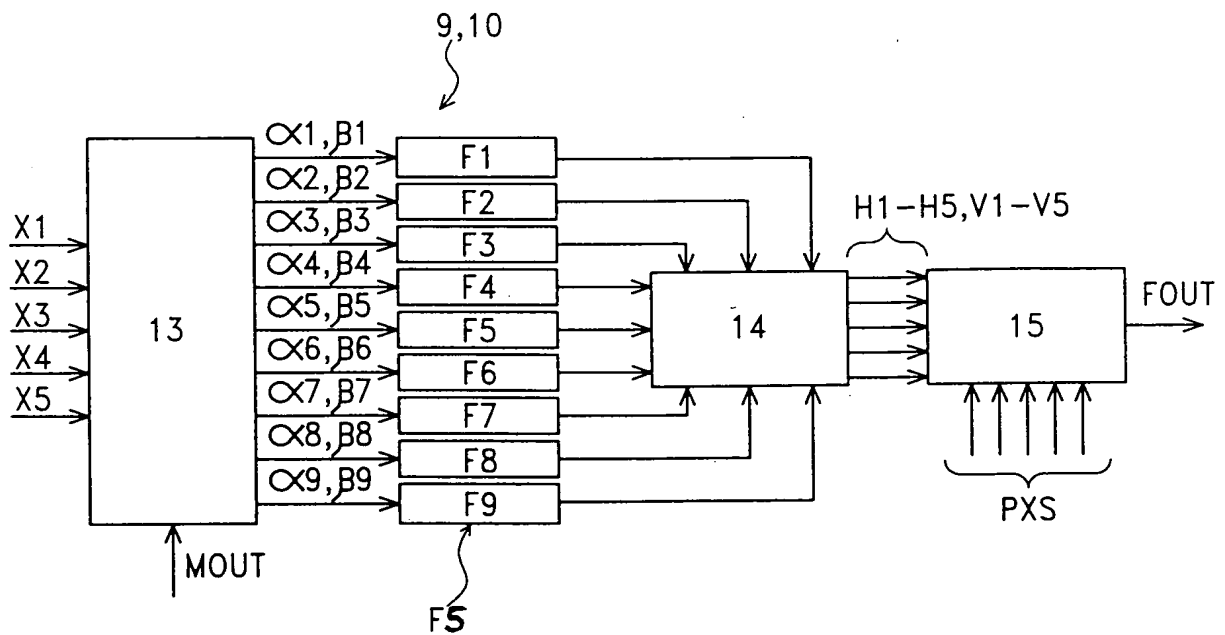


Fig.12